



METSÄ FIBRE OY:n KEMIN BIOTUOTETEHTAAN ILMANLAADUN SEURANTA

**Typen oksidien, rikkidioksidin, hiilimonoksidin,
haisevien rikkiyhdisteiden, hengitettävien hiukkasten ja
pienhiukkasten pitoisuustulokset vuonna 2024**



METSÄ FIBRE OY:n KEMIN BIOTUOTETEHTAAN ILMANLAADUN SEURANTA

Typen oksidien, rikkidioksidin, hiilimonoksidin, haisevien rikkiyhdisteiden, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuustulokset vuonna 2024

Antti Mannisenaho

Toni Mattila

Henrik Virta

Mika Vestenius

Katja Lovén

ILMATIETEEN LAITOS – ASiantuntijapalvelut Ilmanlaatu ja Energia

Helsinki 30.4.2025

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	4
2. ILMANLAADUN MITTAUSTULOKSET	4
2.1 Mitatut pitoisuudet.....	4
2.2 Ilmanlaatuindeksi	6
2.3 Pitoisuuksien vertailua raja- ja ohjearvoihin.....	8
2.4 Hajujen esiintyminen	11
2.5 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin.....	11
2.6 Mitattujen pitoisuuksien tuntikohtainen vaihtelu viikonpäivien ja vuodenaikojen mukaan.....	15
2.7 Pitoisuuksien vertailua muualla mitattuihin pitoisuuksiin	17
3. YHTEENVETO MITTAUSTULOISTA.....	20
4. TUTKIMUKSEN SUORITUS.....	22
4.1 Tutkimuskohde.....	22
4.2 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät	24
4.3 Mittausepävarmuus ja hiukkasmittausten vertailukelpoisuus	26
4.4 Kalibrointimenetelmät, laadunvarmistus ja laitehuollot	27
5. SÄÄTIEDOT	28
5.1 Tuulitiedot.....	28
5.2 Keskilämpötilat	29
5.3 Sademäärät.....	29
5.4 Ilmanlaatuun vaikuttavat säätekijät.....	30
6. TAUSTATIETOA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA	31
6.1 Typen oksidit	31
6.2 Hiukkaset	32
6.3 Rikkidioksidi	33
6.4 Haisevat rikkiyhdisteet	34
6.5 Hiilimonoksidi	34
6.6 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset	35
6.7 Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot	36
6.8 Ilmanlaadun arviointikynnykset	38

1. JOHDANTO

Ilmatieteen laitos alkoi seurata Kemissä Metsä Groupiin kuuluvan Metsä Fibren tehtaiden läheisyydessä ulkoilman laatua 17.6.2021 yhdessä mittauspisteessä. Mittausasema sijaitsee Metsä Fibren tehdasalueen ja Kemijoen itäpuolella. Mittauksia tullaan jatkamaan keskeytyksettä samassa paikassa nykyisen mittaus sopimuksen puitteissa vuoden 2025 loppuun asti. Mittausasemalla mitattiin vuoden 2024 mittausajanjaksolla typpimonoksidia (NO), typpidioksidia (NO₂), typen oksideja (NO_x), rikkidioksidia (SO₂), hiilimonoksidia (CO), haisevia rikkiyhdisteitä (TRS), pienhiukkasia (PM_{2,5}) sekä hengitettäviä hiukkasia (PM₁₀). NO_x- ja PM₁₀- sekä PM_{2,5}-päästöjä vapautuu erityisesti autoliikenteestä, kun taas SO₂- ja TRS-päästöt ovat pääosin teollisuuden tuotantoprosessien aiheuttamia. Puun pienpolto on merkittävä PM_{2,5}-pitoisuuksiin vaikuttava lähde taajama-alueilla. CO-päästöjä syntyy pääasiassa autoliikenteestä, erityisesti vanhemmasta autokannasta, sekä huonolaatuisesta puun palamisesta. Ilmanlaadun mittausten tavoitteena on kartoittaa näiden ilmansaasteiden pitoisuuksia ja hetkellistä vaihtelua Metsä Fibre Oy:n Kemin biotuotetehtaan läheisyydessä. Pitoisuuksia mitataan jatkuvatoimisilla automaattisilla analysaattoreilla, jotka täyttävät lainsäädännön mukaiset laatuvaatimukset ilmanlaadun mittauksille. Ilmanlaatumittausten tulosten tulkintaa varten asemalla mitataan myös sää tietoja. Metsä Fibre Oy:n teollisuusalueella mittausaseman läheisyydessä on ollut aikaisempina vuosina meneillään mittava uuden biotuotetehtaan rakennusprojekti. Biotuotetehtas otettiin käyttöön syyskuussa 2023. Aikaisempina vuosina rakennushankkeella ja -työmaalla on ollut vaikutusta ilmanlaatuun, mm. siihen liittyvien maansiirtotöiden, työ koneiden ja ras kaanliikenteen myötä. Rakennustöillä ei ole ollut vaikutusta vuoden 2024 ilmanlaadun mittaustuloksiin.

Tässä raportissa esitetään mittaustulokset vuoden 2024 mittausjakson ajalta ja verrataan niitä ilmanlaadun lainsäädännössä asetettuihin raja- ja ohjearvoihin. Lisäksi raportissa tarkastellaan mitattujen pitoisuuksien trendejä vertaamalla mittaustuloksia aiempina vuosina 2021–2023 Äänekosken mittausasemalla mitattuihin pitoisuuksiin, sekä muilla Suomen mittausasemilla vastaavana aikana mitattuihin pitoisuusarvoihin soveltuvin osin.

Ilmanlaadun mittauksista sekä niihin liittyvästä asiantuntijatyöstä vastasi Ilmatieteen laitoksen Asiantuntijapalvelut-yksikkö. Työn tilasi Metsä Fibre Oy.

2. ILMANLAADUN MITTAUSTULOKSET

2.1 Mitatut pitoisuudet

Metsä Fibren tehdasalueen lähistöllä Kemi biotuotetehtas -mittausasemalla mitattujen NO-, NO₂-, NO_x-, PM₁₀-, PM_{2,5}-, SO₂-, TRS- ja CO-pitoisuuksien vuosikeskiarvot vuonna 2024 on esitetty taulukossa 1. Raportin lopun liitetaulukoihin on koottu kuukausittaisia tilastotietoja kaikista mitatuista pitoisuuksista tältä ajanjaksolta. Raportin lopussa olevissa liitekuvissa on esitetty vuonna 2024 mitattujen ilman epäpuhtauksien pitoisuuksien tunti- ja vuorokausikeskiarvojen aikasarjat yksikössä µg/m³ (CO:n osalta mg/m³).

Kaikki mittaukset on suoritettu jatkuvatoimisilla automaattisilla analysointilaitteilla, jotka täyttävät lainsäädännön mukaiset laatuvaatimukset ilmanlaadun mittauksille. Mittauspaikkaa on esitelty tarkemmin raportin jälkimmäisessä osassa, kappaleessa 4.1 ja mittausmenetelmistä ja käytetyistä laitteista on kerrottu kappaleessa 4.2. Raportin tekstissä keskitytään typen oksideista vain NO₂-pitoisuustulosten käsittelyyn, koska lainsäädännön vertailuarvot ihmisten terveyden suojelemiseksi on annettu nimenomaan NO₂:lle.

Taulukko 1. Kemi biotuotetehdas mittausasemalla mitattujen NO-, NO₂-, NO_x-, PM₁₀-, PM_{2,5}-, SO₂-, TRS- ja CO-vuosikeskiarvopitoisuudet vuosina 2021–2024.

Vuosikeskiarvo-pitoisuudet	Yksikkö	2021	2022	2023	2024
NO	µg/m ³	6,6	7,4	5,0	4,9
NO ₂	µg/m ³	10,1	8,9	12,7	9,6
Kokonais-NO _x (NO ₂ :na ilmaistuna)	µg/m ³	20,2	19,9	20,2	17,0
PM ₁₀	µg/m ³	18,2	19,5	17,4	15,7
PM _{2,5}	µg/m ³	5,6	5,9	6,4	5,8
SO ₂	µg/m ³	0,6	0,8	0,9	0,9
TRS (rikkinä)	µg(S)/m ³	0,8	0,8	0,7	0,9
CO	mg/m ³	0,3	0,2	0,1	0,2

Kuten aikaisempina vuosina, pitoisuudet vaihtelivat tarkastelujaksolla voimakkaasti. Hetkellinen tuntipitoisuuksien vaihtelu oli merkittävästi suurempaa kuin vuorokausipitoisuuksien vaihtelu. NO₂-pitoisuudet olivat pienimmillään kesällä ja vastaavasti korkeimmillaan talvella lämpötilan ollessa pakkasella. Talviaikaan on usein sellaisia sääolosuhteita, kuten inversiotilanteita, jolloin ilman sekoittuminen on heikkoa. Silloin matalalta vapautuvat liikenteen ja pienpolton aiheuttamat päästöt kerääntyvät ilmakerrokseen päästölähteiden lähelle ja laimentuvat huonosti ympäröivään ilmaan. Mitatuissa NO₂-pitoisuuksissa havaittiin selvästi läheisen autoliikenteen vaikutus. Korkein mitattu NO₂-tuntipitoisuus oli 73,8 µg/m³, joka mitattiin 25.1. klo 19.00 ja korkein vuorokausipitoisuus oli 40,3 µg/m³, joka mitattiin 8.1.

PM₁₀-pitoisuudet olivat sen sijaan korkeimmillaan maaliskuun lopulla ja huhtikuun alussa sekä syyskuun alkupuolella. PM₁₀-pitoisuuksissa havaittiin myös läheisen autoliikenteen vaikutus pölyämisinä. Korkeimmat pitoisuudet mitattiin kaakon puoleisella tuulella, jossa sijaitsee uusi rekkaparkki, jossa rekka-autot odottavat pääsyä tehdasalueelle. PM₁₀-pitoisuudet olivat matalampia verrattuna aiempiin vuosiin johtuen liikenteen siirtymisestä pois mittausaseman välittömästä läheisyydestä. Korkein tuntipitoisuus oli 178,9 µg/m³, joka mitattiin 30.10. klo 3.00 ja korkein vuorokausipitoisuus oli 37,1 µg/m³, joka mitattiin 26.3.

SO₂-pitoisuuksissa ei havaittu selviä vuodenaikaisvaihteluja vuoden 2024 aikana ja pitoisuudet olivat pääosin erittäin pieniä. Korkein tuntipitoisuus oli 28,0 µg/m³, joka mitattiin 20.9. klo 0.00 ja korkein vuorokausipitoisuus oli 4,8 µg/m³, joka mitattiin 8.5. Suurimmat SO₂-pitoisuudet mitattiin tuulen puhaltaessa lännestä, jossa sijaitsee biotuotetehtaan toimintoja. TRS-pitoisuuksissa havaittiin korkeampia pitoisuuksia kesäkuun puolen välin ja heinäkuun puolen välin välisenä aikana. Biotuotetehtaalla tapahtui räjähdys maaliskuussa ja korjausten valmistuttua tehdas palasi tuotantoon kesäkuun loppupuolella, joka oli syynä suurempiin mitattuihin TRS-pitoisuuksiin. Marraskuussa tehtaalla oli korjausseisokki, joka aiheutti hajuhaittaa ympäristöön ja ne näkyivät kohonneina TRS-pitoisuuksina marraskuun aikana. SO₂- ja TRS-yhdisteet ovat peräisin teollisuuden prosesseista, minkä vuoksi myös niiden ulkoilmapitoisuuksien aikasarjoissa havaitaan teollisuuden prosessipäästöjen vaihtelusta aiheutuvaa pitoisuusvaihtelua ja yksittäisiä korkeita pitoisuuspiikkejä häiriöpäästöjen aikana. Korkein mitattu rikkidioksidin tuntipitoisuus oli 28,0 µg/m³, joka mitattiin 19.9. Korkein TRS-tuntipitoisuus oli 209,3 µg(S)/m³, joka mitattiin 19.6. Myös lokakuussa mitattiin erittäin korkeita TRS-tuntipitoisuuksia: 204,1 µg(S)/m³ 21.10. klo 22 ja 129,4 µg(S)/m³ 21.10. klo 23.

CO-pitoisuudet on esitetty mg/m³ yksiköissä (1 mg/m³ = 1000 µg/m³). Ilmanlaadun lainsäädännössä asetetut raja-arvot (8 tuntia: 10 000 µg/m³ = 10 mg/m³) sekä ohjearvot (tunti: 20 mg/m³, 8 tuntia: 8 mg/m³) ovat niin ikään mg/m³ yksikössä. CO-pitoisuuksissa voidaan havaita korkeampia piikkejä mittausjakson kylmempinä kuukausina sekä kesäkuussa. Korkeimpiin piikkeihin vaikuttavat todennäköisesti meteorologia (inversiotilanteet) sekä puun pienpoltto, jota esiintyy runsaimmin kylminä talvikuukausina. Korkein tuntipitoisuus oli 1,2 mg/m³, joka mitattiin 6.2. klo 20.00. Korkeimmat CO-pitoisuudet mitattiin kylminä kuukausina idän puoleisella tuulella, jossa sijaitsee lähin pientaloalue.

2.2 Ilmanlaatuindeksi

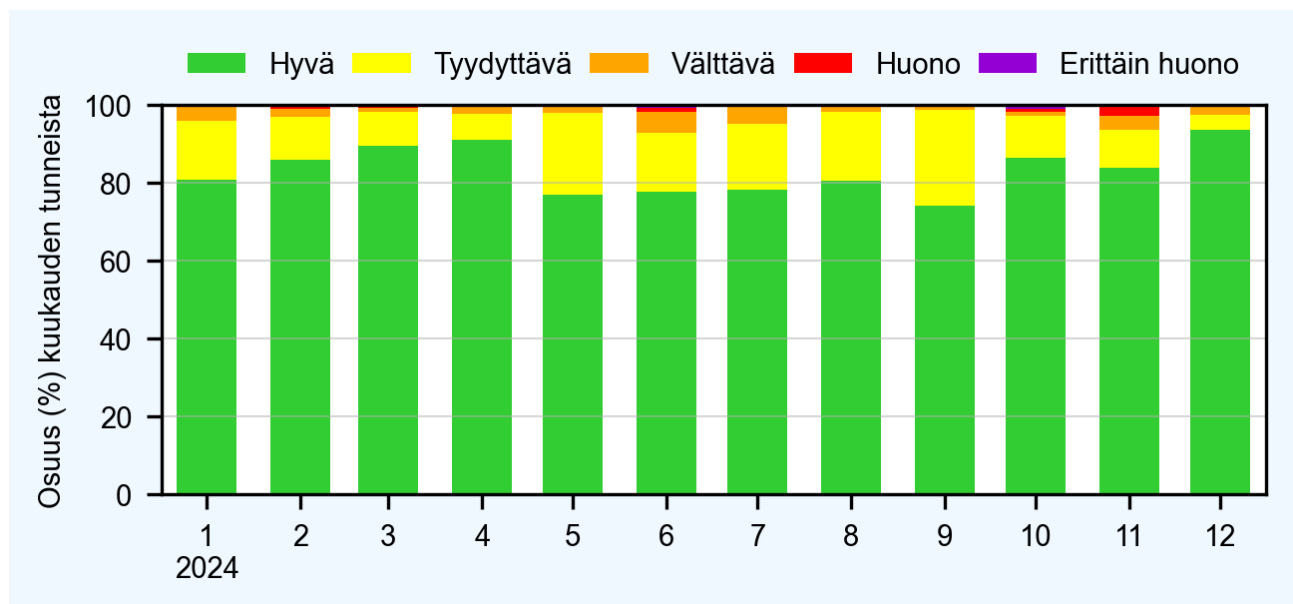
Kemi biotuotetehtaan mittausasemalla mitattujen pitoisuuksien tuntiarvojen perusteella laskettiin ilmanlaatuindeksi, joka kuvaa vallitsevaa ilmanlaatuilannetta viisiportaisella sanallisella asteikolla: hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono tai erittäin huono. Ilmanlaatuindeksi on vertailuluku, joka kuvaa sen hetkistä ilmanlaatua suhteutettuna ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin. Ilmanlaatuindeksin määrittämiseksi kullekin mitattavalle yhdisteelle (NO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, TRS, CO) lasketaan ensin pitoisuuksien tuntikeskiarvoista ali-indeksi. Ali-indekseistä korkeimman arvo määrää sen tunnin ilmanlaatuindeksin arvon. Vuorokauden ilmanlaatuindeksi määräytyy puolestaan ilmanlaadultaan huonoimman tunnin mukaan (<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatuindeksi>).

Taulukko 2

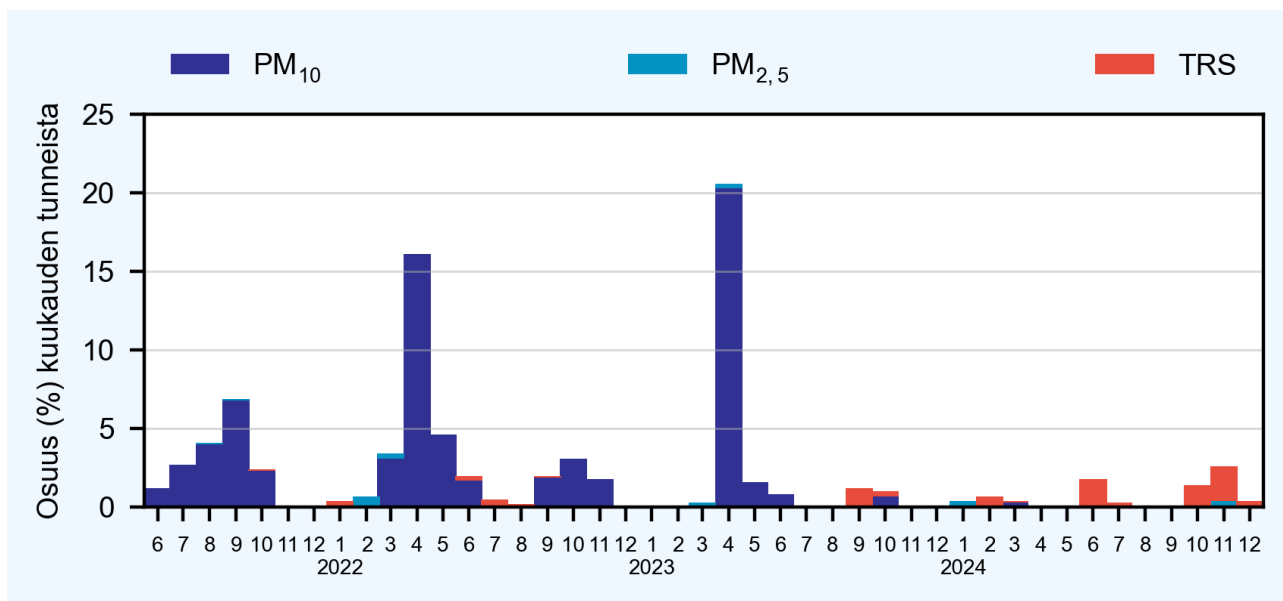
	Hyvä	Tyydyttävä	Välttävä	Huono	Erittäin huono
Osuus päivistä	40,4 %	35,5 %	15,8 %	6,0 %	1,9 %
Osuus tunneista	83,3 %	13,5 %	2,5 %	0,6 %	0,1 %

Kuvassa 1 on esitetty kunkin kuukauden tuntien jakautuminen ilmanlaatuindeksin luokkiin Kemi biotuotetehtaan mittausasemalla vuonna 2024. Liitekuviissa 1–2 suurimmat ilmanlaatuindeksin tunti- ja vuorokausiarvot sekä liitekuviassa 3 on esitetty kuvan 1 vastaava tieto, mutta vuosilta 2021–2024. Indeksillä ilmaistuna ilmanlaatu oli hyvää 40,4 %, tyydyttävää 35,5 %, välttävää 15,8 %, huonoa 6,0 % ja erittäin huonoa 1,9 % päivistä. Tunneittain tarkasteltuna ilmanlaatu oli hyvää 83,3 %, tyydyttävää 13,5 %, välttävää 2,5 %, huonoa 0,6 % ja erittäin huonoa 0,1 % vuoden tunneista. Pääosin huonot ja erittäin huonot indeksi-arvot johtuivat vuonna 2024 (kesä-, loka- ja marraskuu) korkeista TRS-pitoisuuksista (kuva 2). Aikaisempina vuosina PM₁₀-pitoisuudet ovat olleet pääaiheuttaja huonoille ja erittäin huonoille ilmanlaadun indeksin arvoille. Kaiken kaikkiaan huonon ja erittäin huonon ilmanlaadun tunnit ovat vähentyneet merkittävästi aiempiin vuosiin 2021–2023 nähden.

Ilmanlaadun indeksi-arvojen laskenta perustuu mitattujen ilman epäpuhtauksien pitoisuuksien tarkasteluihin suhteessa niiden terveysvaikutusperusteisiin raja- tai ohjearvopitoisuuksiin. Tästä syystä haisevien rikkiyhdisteiden aiheuttamat ilmanlaatuvaikutukset kuvautuvat indeksissä vain mahdollisten terveysvaikutusten osalta, eikä indeksi kuvaa TRS-yhdisteiden aiheuttamaa hajuhaittaa. Kemi biotuotetehtaan mittausasemalla mitattiin myös hajukynnyksen ylittäneitä TRS-pitoisuuksia. Hajuhaitat osaltaan huonontavat ilmanlaatua muiden ilmanlaatuun vaikuttaneiden tekijöiden lisäksi ja niitä tarkastellaan kappaleessa 2.4.



Kuva 1. Ilmanlaatuindeksin jakautuminen prosentuaalisesti eri luokkiin (hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono, erittäin huono) kuukauden mukaan Kemi biotuotetehtaan mittausasemalla vuonna 2024.



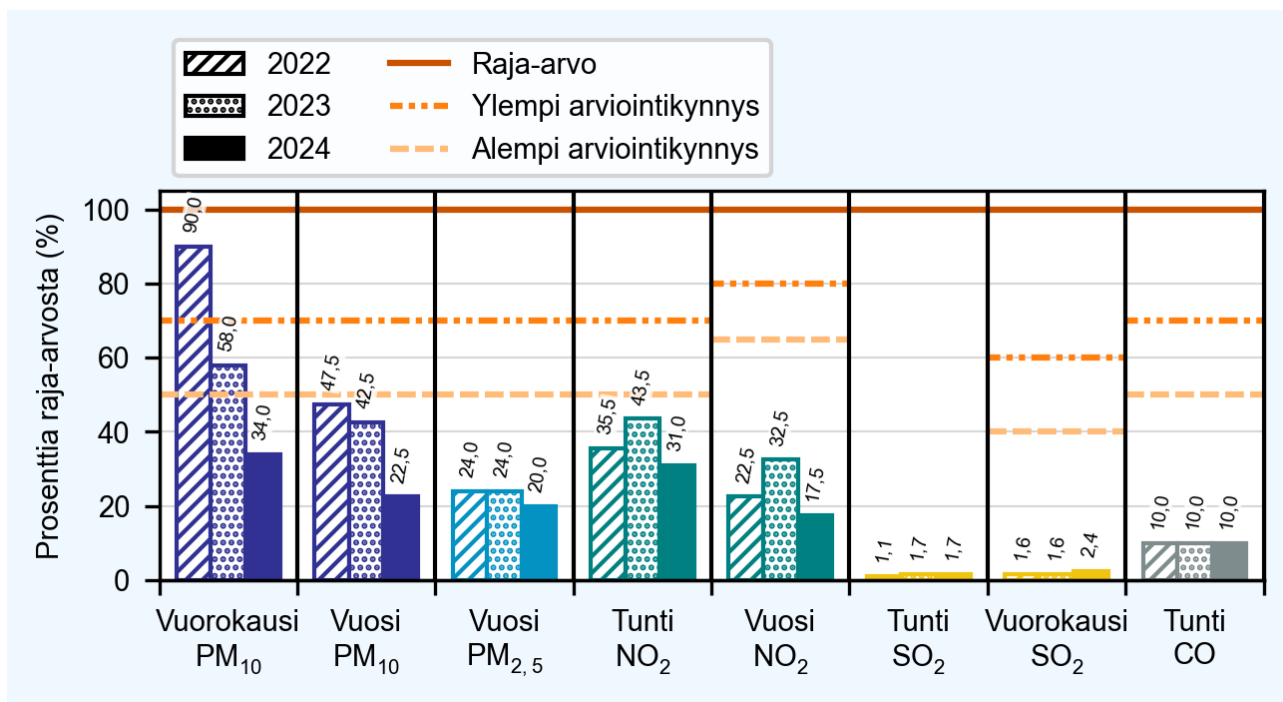
Kuva 2. Huonon ja erittäin huonon ilmanlaadun määrittämien yhdisteiden kuukausijakauma Kemi biotuotetehtaan mittauspisteessä vuosina 2021–2024.

2.3 Pitoisuuksien vertailua raja- ja ohjearvoihin

Raja-arvot määrittelevät pitoisuuksille enimmäiskaton, jota ei saa ylittää. Raja-arvot ovat voimassa kaikissa EU-maissa. Ohjearvojen seuraamisella sen sijaan yritetään ohjata esimerkiksi kaavoitusta sellaisille alueille, jossa pitoisuudet ovat ihmisten terveydelle haitattomalla tasolla. Raja- ja ohjearvoilla on erilaiset tilastolliset määrittelyt ja joillekin raja-arvopitoisuuksille sallitaan vielä erikseen ylityksiä määrittelystä pitoisuustasosta, joten raja- ja ohjearvoja ei voi suoraan lukuarvoina verrata keskenään. Arviointikynnyksiin vertaamisen avulla määritetään ilmanlaadun seurantarvetta ja käytettäviä seurantamenetelmiä. Ilmanlaadun lainsäädännöstä on kerrottu tarkemmin raportin jälkimmäisessä osassa kappaleessa 6.7. Liitetaulukkoissa Liitetaulukko 1–Liitetaulukko 9 on esitetty kaikkien mitattujen yhdisteiden pitoisuuksien tilastollisia tunnuslukuja.

Kuvassa 3 on esitetty vertailut Kemi biotuotetehtaan mittausasemalla havaituista raja-arvoihin ja arviointikynnyksiin verrannollisista NO₂-, SO₂-, CO-, PM₁₀- sekä PM_{2,5}-pitoisuuksista vuosilta 2022–2024. TRS-pitoisuuksille ei ilmanlaadun lainsäädännössä ole raja-arvoja. Kaikki mitatut pitoisuudet jäivät raja-arvojen alapuolelle vuonna 2024 ja raja-arvoon vertailtavat pitoisuudet olivat samansuuruisia tai alempia kuin aikaisempina vuosina. Vuonna 2024 vuosi- ja vuorokausiraja-arvoon verrannolliset PM₁₀-pitoisuudet olivat järjestyksessä 34 % ja 22,5 % raja-arvosta. Vuosiraja-arvoon verrannollinen PM_{2,5}-pitoisuus oli 20 %. Vuosi- ja tuntiraja-arvoon verrannolliset NO₂-pitoisuudet olivat järjestyksessä 31 % ja 17,5 % raja-arvosta. Vuorokausi- ja tuntiraja-arvoon verrannolliset SO₂-pitoisuudet olivat 1,7 % ja 2,4 %. Tuntiraja-arvoon verrannollinen CO-pitoisuus oli 10 % raja-arvosta.

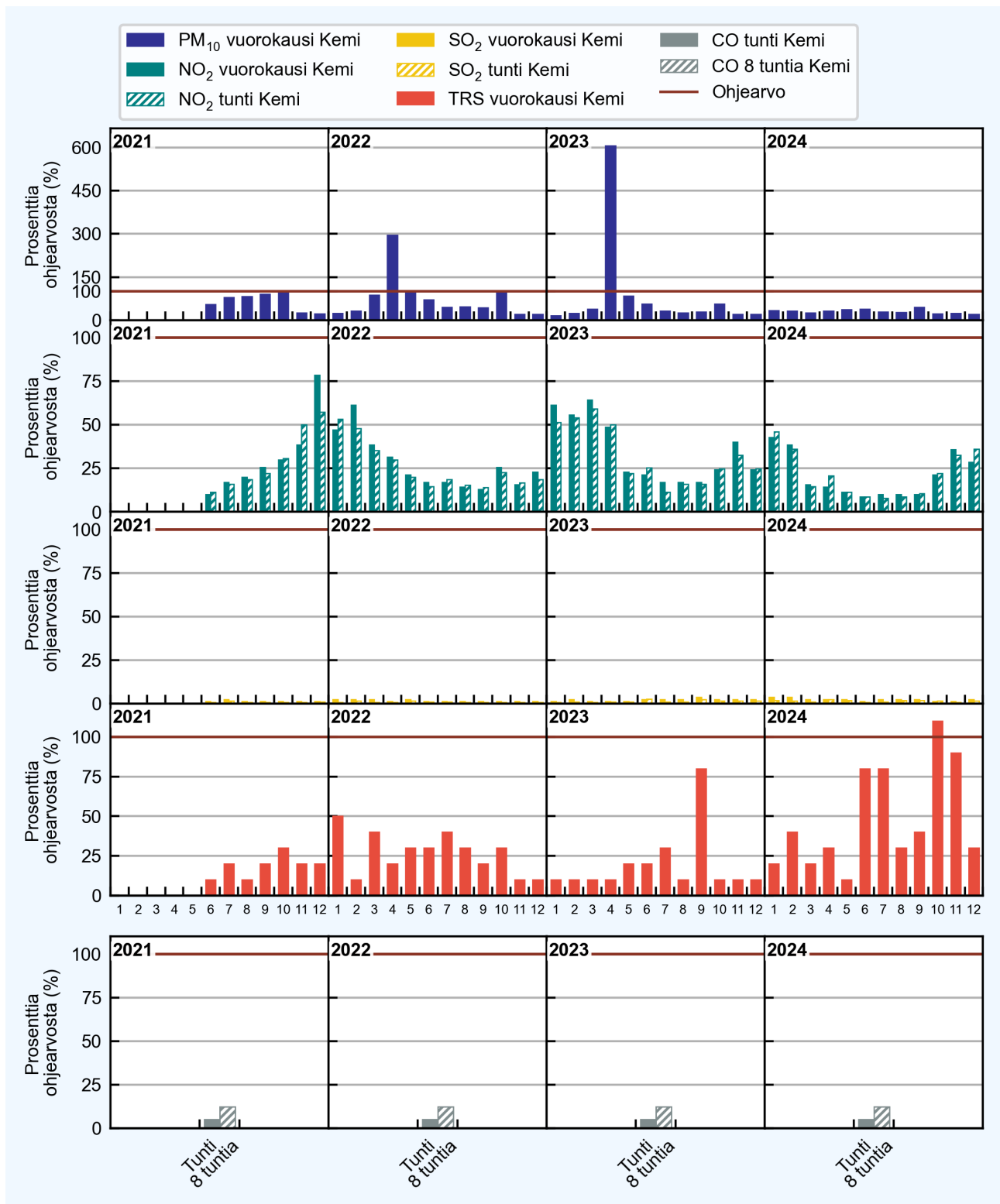
Vuonna 2024 arviointikynnykset eivät ylittyneet. Vuorokausiraja-arvon numeerisen arvon ylittäviä PM₁₀-pitoisuuksia ei havaittu yhtään vuonna 2024.



Kuva 3. Raja-arvoon verrannolliset PM₁₀-, PM_{2,5}-, NO₂-, SO₂- ja CO-pitoisuudet suhteessa (%) raja-arvoihin Kemi biotuotetehdas -mittausasemalla vuosina 2022–2024. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla raja-arvotaso sekä ylempi ja alempi arviointikynnys. Etukenotastaviivoitus kuvaa vuotta 2022, täplätastaviivoitus vuotta 2023 ja tasaväriä vuotta 2024.

Kuvassa 4 on esitetty ohjearvoon verrannolliset NO₂-, PM₁₀-, SO₂-, TRS- ja CO-pitoisuudet kuukausittain Kemi biotuotetehdas mittausasemalla vuosien 2021–2024 ajalta. Vuonna 2024 pitoisuuksien ohjearvot ylittyivät vain TRS-pitoisuuksien osalta lokakuussa. Ohjearvoon verrattavista PM₁₀-pitoisuuksista (kuukauden 2. korkein vuorokausiarvo) korkein arvo 44,3 % ohjearvosta mitattiin syyskuussa. Vastaavista vuorokausiohjearvoon verrattavista sekä tuntiohjearvoon verrattavista (kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste) NO₂-pitoisuuksista korkeimmat arvot 42,9 % vuorokausiohjearvosta ja 46,0 % tuntiohjearvosta (kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste) mitattiin tammikuussa. Ohjearvoon verrannolliset SO₂-pitoisuudet olivat korkeimmillaan 3,8 % ohjearvosta. Korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen TRS-pitoisuus 110,0 % ohjearvosta mitattiin lokakuussa, joka ylitti ohjearvon. Korkeita ohjearvoon verrannollisia TRS-pitoisuuksia mitattiin tämän lisäksi myös kesä (80,0 % ohjearvosta), heinä- (80,0 % ohjearvosta) ja marraskuussa (90,0 % ohjearvosta). Ohjearvoon verrattavat CO-pitoisuudet olivat korkeimmillaan 12,5 % ohjearvosta.

Huomion arvoista kuvassa 4 on, että TRS-pitoisuudet vaikuttavat olevan pyöristettyjä lähimpään kymmeneen prosenttiin, vaikka näin ei ole. Ohjearvoihin verrattaessa (kuten myös raja-arvo vertailussa) pitoisuudet pyöristetään samaan tarkkuuteen ohjearvon kanssa (TRS vrk-ohjearvo: 10 µg/m³) ja pitoisuuksien ollessa alle 10 µg/m³ niin pyöristettyinä kokonaislukuun ne ovat: 1 µg(S)/m³ = 10 %, 2 µg(S)/m³ = 20 % ja 3 µg(S)/m³ = 30 % ohjearvosta. Myös CO-pitoisuudet vaihtelevat hieman vuosittain, mutta koska pitoisuudet ovat pieniä, ne pyöristyvät ohjearvon tarkkuudella joka vuosi samansuuruisiksi ohjearvoon verrattuna.

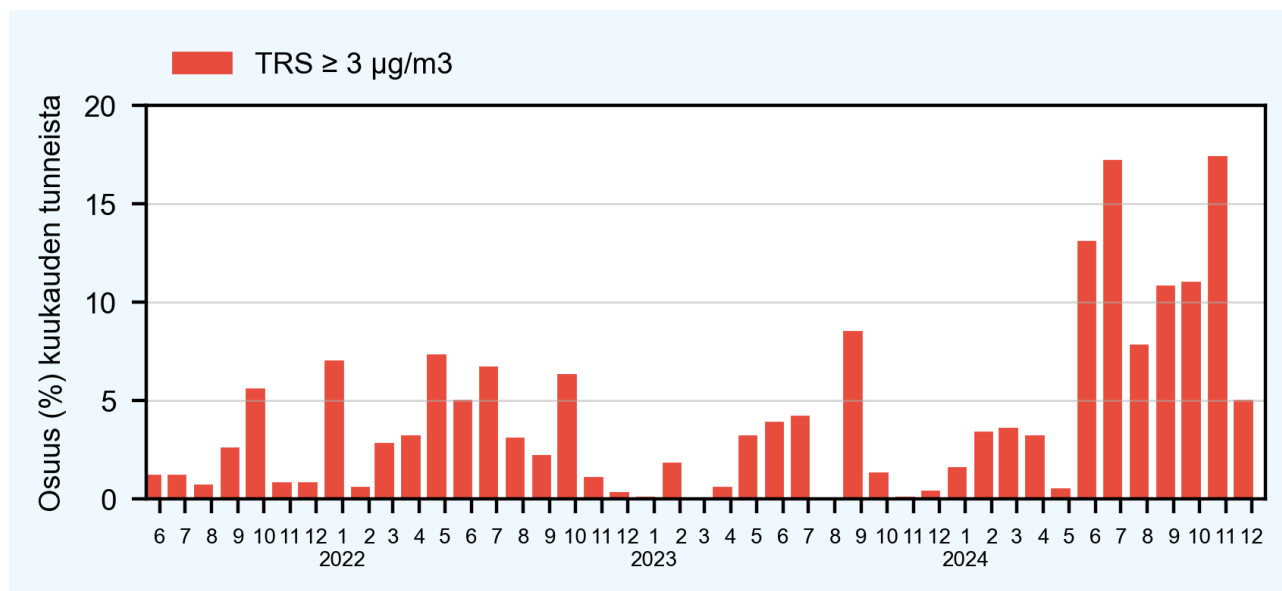


Kuva 4. Ohjearvoon verrattavat suhteelliset NO₂-, PM₁₀-, SO₂-, TRS- ja CO-pitoisuudet Kemi biotuotetehdas mittausasemalla vuosilta 2021-2024. Vaakaviivalla on merkitty ohjearvotasot (100 %).

2.4 Hajujen esiintyminen

Haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) pitoisuuksiin perustuvaa hajujen esiintyvyyden arviointia voidaan pitää vain hyvin suuntaa-antavana. Tässä tarkastelussa on oletettu, että kaikki mitattu TRS-pitoisuus olisi ollut rikkivetyä, joka on kaikista TRS-yhdisteistä herkimmin haiseva, eli sillä on matalin hajukynnys. Rikkivety aiheuttaa tunnistettavaa hajua pitoisuustasolla noin 3–6 µg(S)/m³ ja melko voimakasta tunnistettavissa olevaa hajua, kun pitoisuus on yli 6 µg(S)/m³. Todellisuudessa mitattu pitoisuus sisältää eri TRS-yhdisteitä. Kaikkien näiden yhdisteiden haju havaitaan eri pitoisuustasoilla, koska kullakin on eri hajukynnys. Näin ollen kokonais-TRS-pitoisuus ei suoraan kerro hajun esiintyvyydestä.

Kemi biotuotetehdas mittausasemalla mitattuja TRS-tuntipitoisuuksia tarkastelemalla voidaan tilastollisesti arvioida, että mittausjaksolla olisi esiintynyt hajutunteja (≥ 3 µg(S)/m³) 691 kpl eli noin 7,9 % koko mittausjakson tunneista. Näistä tunneista olisi ollut melko voimakasta tunnistettavissa olevaa hajua 305 tuntia (3,5 %) ja loput tunnistettavaa hajua. TRS-pitoisuus oli koko mittausjaksolla noin 77,7 % tunneista alle 1 µg(S)/m³. Kuvassa 5 on esitetty hajutuntien osuus kuukauden tunneista vuosilta 2021–2024. Hajutunnit ovat lisääntyneet vuoden loppua kohden merkittävästi.



Kuva 5. Hajutuntien ($\text{TRS} \geq 3 \mu\text{g(S)}/\text{m}^3$) esiintyminen prosentteina kuukauden tunneista Kemi biotuotetehdas mittausasemalla vuosina 2021–2024.

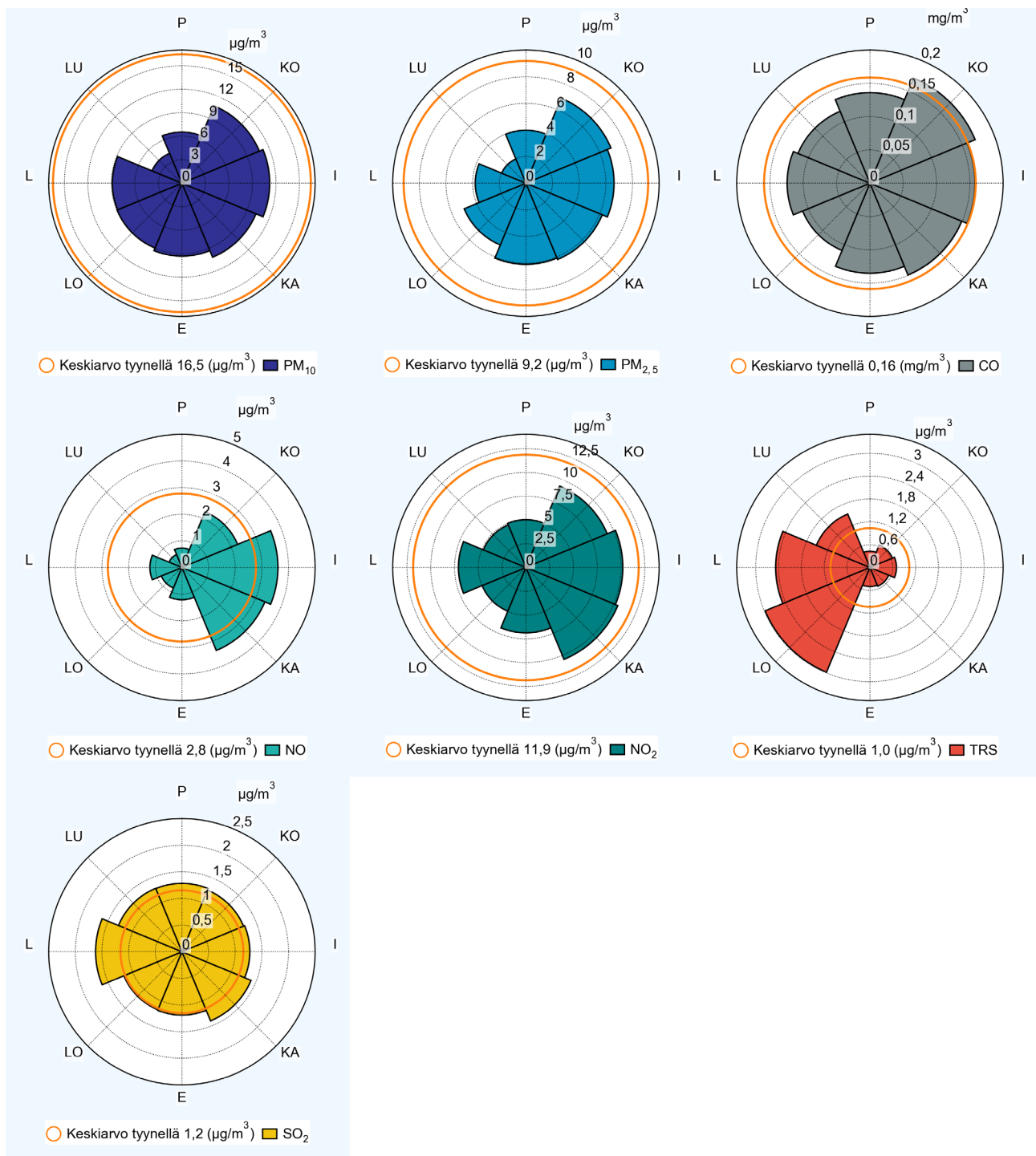
2.5 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin

Kuvassa 6 on havainnollistettu Kemi biotuotetehdas mittausasemalla mitattujen pitoisuuksien keskimääräistä riippuvuutta tuulensuunnasta ns. pitoisuusruusujen avulla. Pitoisuusruusu kuvaa tuntipitoisuuksien keskiarvoa eri tuulensuunnilla. Tyynellä säällä, tässä tarkastelussa, kun tuulen nopeus on alle 0,5 m/s, havaittujen tuntipitoisuuksien keskiarvo on esitetty ympyrällä, jonka kehän etäisyys keskipisteestä kuvaa pitoisuuden arvoa. Muilla tuulennopeuksilla havaitut pitoisuudet on esitetty tuulensuuntaisina sektoreina, joissa etäisyys keskipisteestä vastaa tuntipitoisuuksien keskiarvoa.

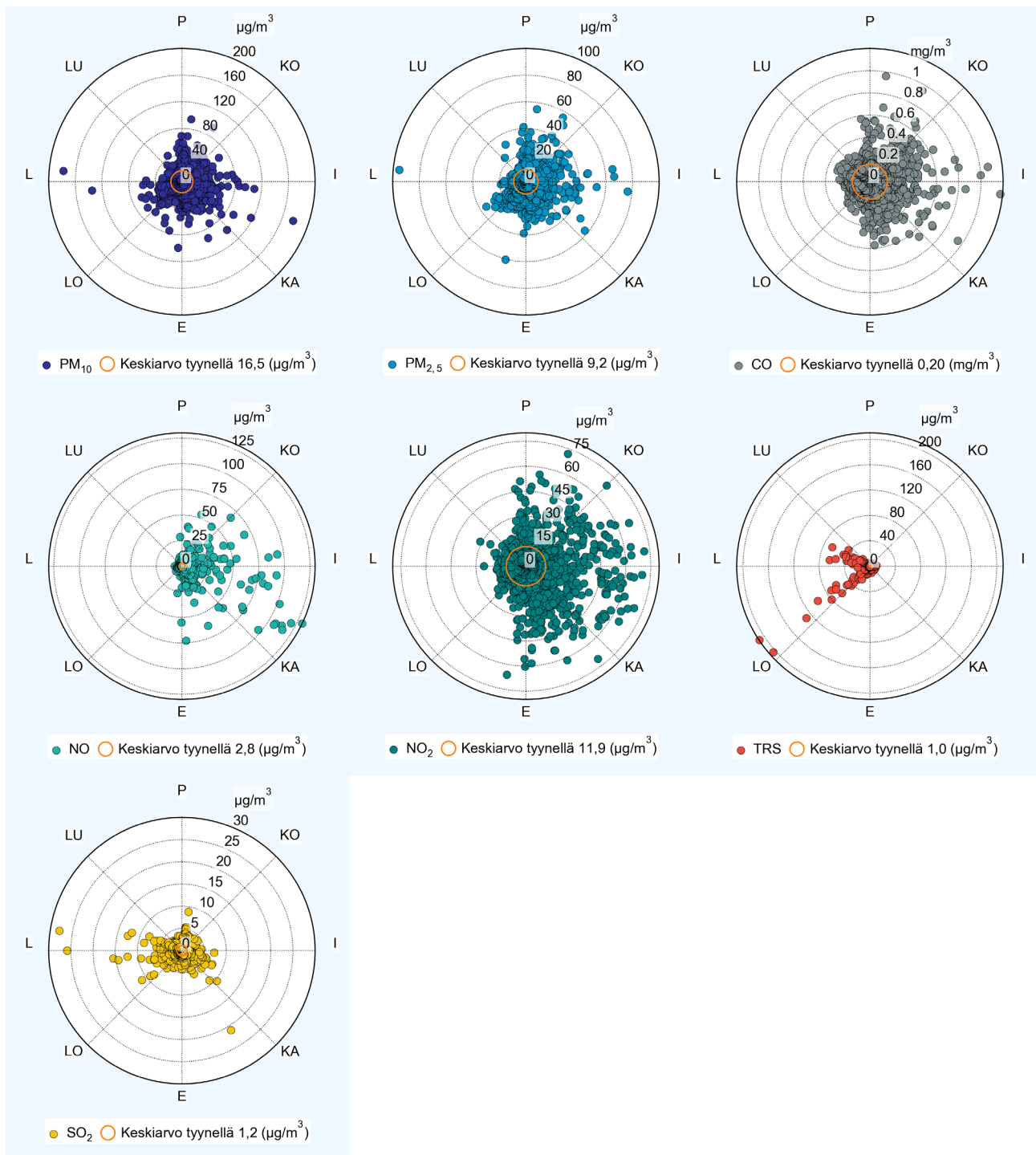
Vuonna 2024 vallitsevat tuulensuunnat olivat kaakon ja lännen väliseltä sektorilta. Tuulennopeudet olivat mittausjaksolla heikkoja, jääden pääosin alle 4 m/s kaikissa suuntasektoreissa. Tämä tuulijakauma vaikuttaa merkittävästi mittausasemalla havaittuihin pitoisuuksiin. Tuulijakauma on esitetty kappaleessa 5.1.

PM₁₀-, PM_{2,5}- ja NO₂-tuntipitoisuuksien tyynien tilanteiden keskipitoisuus oli korkeampi kuin tuullessa. Tämä viittaa siihen, että lähipäästöt vaikuttivat PM₁₀-, PM_{2,5}- ja NO₂-pitoisuuksiin merkittävimmin. PM₁₀-, PM_{2,5}-, NO-, NO₂- ja CO-tuntipitoisuuksissa havaittiin keskimäärin korkeampia pitoisuuksia tuullessa koillisen ja kaakon väliseltä sektorilta, jossa päin sijaitsee Pajusaarentie sen uudessa sijainnissaan (kuva 11). PM_{2,5}-pitoisuuksissa myös etelän sektori korostuu korkeampina keskimääräisinä pitoisuuksina verratessa muihin tuulen suuntiin. Korkeimmat keskimääräiset TRS-tuntipitoisuudet mitattiin tuullessa lounaan ja lännen puolelta ja korkeimmat SO₂-tuntipitoisuudet keskimäärin tuullessa lännen ja kaakon puolelta.

Kuvassa 7 on esitetty mitatut tuntipitoisuudet polaaripistekaaviona, jossa jokainen tuntipitoisuus on esitetty tuulen suunnan mukaan ja etäisyys keskipisteestä vastaa pitoisuutta. PM₁₀- ja PM_{2,5}-tuntipitoisuuksille ei voi määrittää selkeää yksittäistä sektoria, josta tuullessa suurimmat pitoisuudet mitattiin. Suurimmat CO-tuntipitoisuudet mitattiin idästä puhaltavalla tuulella, NO₂-tuntipitoisuudet kaakosta, TRS-tuntipitoisuudet lounaasta ja SO₂-tuntipitoisuudet lännestä sekä kaakosta puhaltavilla tuulilla.



Kuva 6. Kemi biotuotetehdas mittausasemalla mitattujen PM₁₀-, PM_{2,5}-, CO-, NO-, NO₂-, SO₂- ja TRS-tuntipitoisuuksien keskiarvot tuulensuunnittain vuonna 2024. Ympyrällä (oranssi) on merkitty pitoisuuksia, jotka on mitattu tyynissä tilanteissa. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu tuulet, joiden nopeus on alle 0,5 m/s.



Kuva 7. Kemi biotuotetehdas mittausasemalla mitattujen PM₁₀-, PM_{2,5}-, CO-, NO-, NO₂-, SO₂- ja TRS-tuntipitoisuudet polaaripistekaaviokuvaajana vuonna 2024. Ympyrällä (oranssi) on merkitty pitoisuuksia, jotka on mitattu tyynissä tilanteissa. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu tuulet, joiden nopeus on alle 0,5 m/s.

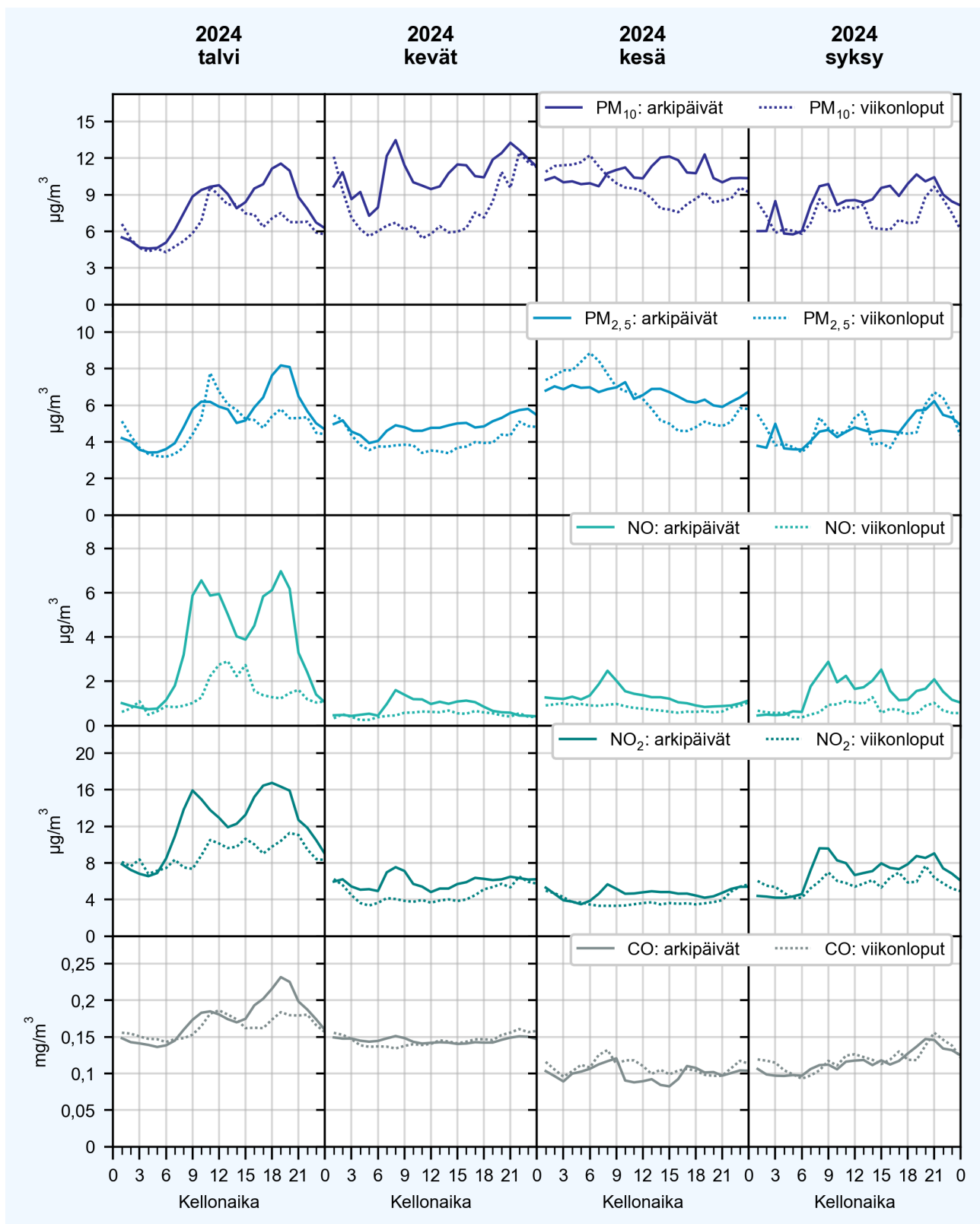
2.6 Mitattujen pitoisuuksien tuntikohtainen vaihtelu viikonpäivien ja vuodenaikojen mukaan

Kuvissa 8–9 on esitetty keskimääräiset vuorokausivaihtelut mitatuille pitoisuuksille jaoteltuna arkipäiviin (ma–pe) ja viikonloppuihin (la–su) sekä vuodenaikoihin (talvi: joului-, tammi- ja helmikuu; kevät: maaliskuu-, huhti- ja toukokuu; kesä: kesä-, heinä- ja elokuu; syksy: syys-, loka-, marraskuu). Vuoden 2024 mittauksissa ei näy selkeää katupölykautta kevään aikana PM_{10} -pitoisuuksissa, toisin kuin aikaisempina vuosina. Kevätkuukausina PM_{10} -pitoisuudet ovat hieman korkeampia keskimäärin kuin muina vuodenaikoina, mutta ei niin merkittävästi kuin aiempina vuosina. Liikenne on siirtynyt pois tieltä, jonka varrella mittausasema sijaitsee ja nyt lähin tie on n. 200 metrin päässä idän suuntaan ja jolla on lähinnä henkilöauto liikennettä. Raskaampi liikenne on siirtynyt uudelle tiellä mittausasemasta etelään ja mittausaseman vieressä kaakon ja etelän puolella sijaitsee rekkaliikenteen parkkipaikka ja punnitusasema.

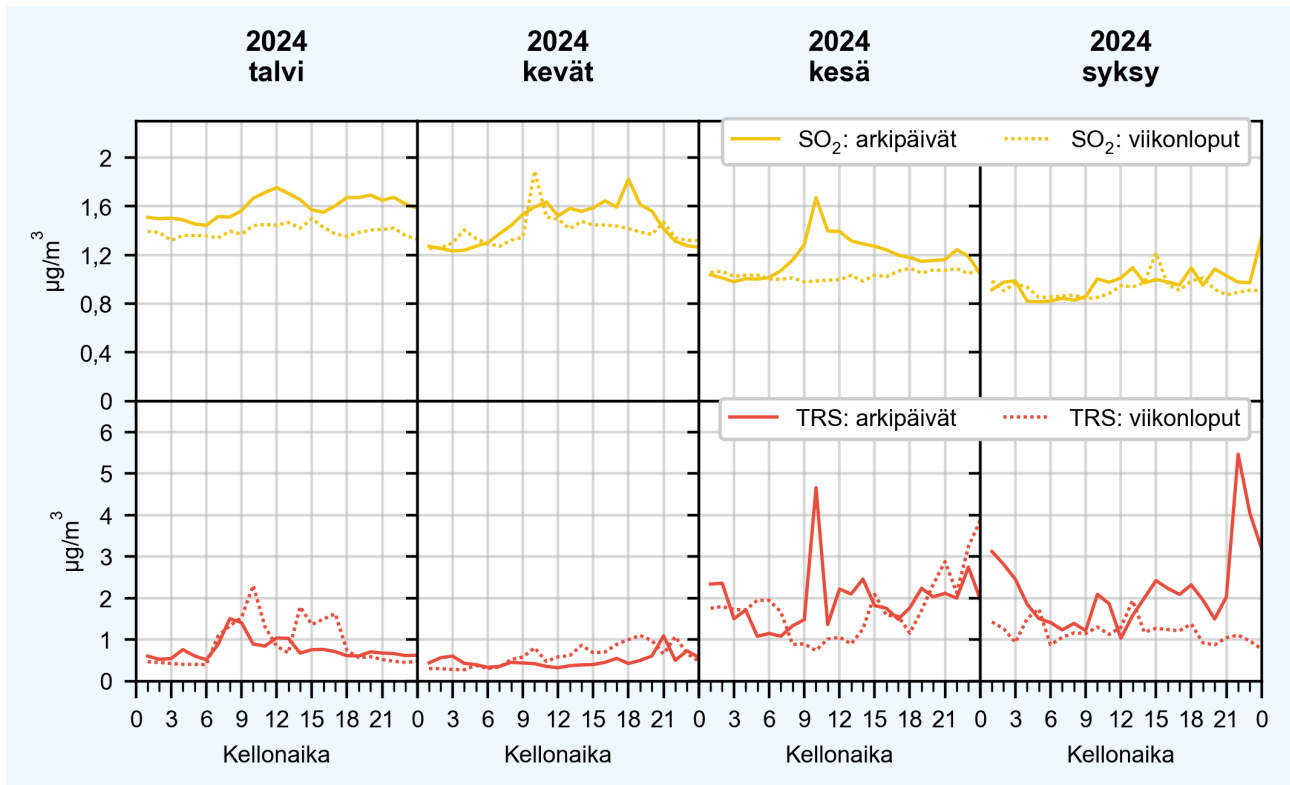
Kaikkina vuoden aikoina NO - ja NO_2 -pitoisuudet olivat korkeampia arkipäivinä kuin viikonloppuina, PM_{10} - ja $PM_{2,5}$ -pitoisuudet olivat arkipäivinä suurempia talvi ja kevät kuukausina sekä PM_{10} -osalta myös syyskuukausina. Kesäkuukausien aamuyön ja aikaisen aamun tunteina PM_{10} - ja $PM_{2,5}$ -pitoisuudet olivat keskimäärin korkeampia viikonloppuisin kuin arkipäivisin. Tämä johtuu muutamasta yksittäisestä päivästä, jotka painottavat niiden tuntien vuorokausivaihtelun keskiarvoa aamuyön ja aamun tunteina viikonloppuina. Liitekuvassa 20 on esitetty vastaava vuorokausivaihtelu, mutta kuvattuna keskiarvon sijaan mediaanina sekä 25.–75. prosenttipisteen vaihteluvälillä. Keskiarvot tuovat selkeästi esiin vuorokausivaihtelun, kuten liikenteestä johtuvat aamu- ja iltahuiput erityisesti talvella ja keväällä. Tämä johtuu siitä, että keskiarvo on herkkä yksittäisille korkeille pitoisuuksille, joita voi syntyä esimerkiksi sääinversioiden seurauksena. Mediaani puolestaan kuvaa tyypillisempää vuorokausivaihtelua ja suodattaa pois yksittäiset piikit, minkä vuoksi aamu- ja iltapäiväruuhkahuiput eivät näy siinä yhtä selvästi. Kun tarkasteluun lisätään mediaaniin perustuva vaihteluväli (25.–75. prosenttipiste), nähdään paremmin myös se, kuinka suuresti pitoisuudet voivat vaihdella päivittäin. Vaikka mediaani ei tuo esiin selkeitä aamu- ja iltahuippuja, 75. prosenttipisteessä nämä liikenteeseen liittyvät huiput näkyvät selvästi, erityisesti talvella ja keväällä (liitekuva 20). Tämä viittaa siihen, että huippupitoisuuksia esiintyy toistuvasti samaan vuorokaudenaikaan, vaikka ne eivät ole tyypillisiä jokaisena päivänä.

Vaikka katupölykauden vaikutus ei enää näy mittauksissa, niin rekkaparkin ja idän puoleisen tien liikenteen vaikutus näkyy silti PM_{10} -, $PM_{2,5}$ -, NO -, NO_2 - sekä CO -pitoisuuksien vuorokausivaihtelussa. Autoliikenteen vaikutus näkyy yleensä typen oksideissa kuten myös Kemi biotuotetehdas mittausaseman mittauksissa kuvassa 8 kahtena piikkinä arkipäivien aamujen ja iltapäivien/iltojen vilkkaimpana liikennöitynä aikoina. Yleensä kylmempinä vuodenaikoina autoliikenteen aiheuttamat typenoksidien aamu- ja iltapäiväpiikit näkyvät selvemmin, koska ilma ei sekoitu niin tehokkaasti alailmakehässä ja päästöt jäävät hengityskorkeuksille herkemmin kuin esimerkiksi kesällä. Talvikuukausina on myös hyvin tyypillistä, että hiukkaspitoisuudet kumuloituvat päivän mittaan, koska sekoittuminen on heikkoa. Keväällä ja kesällä taas auringon noustessa ja lämmittäessä maanpintaa syntyvät nousevat pystyvirtaukset sekoittavat ilmaa tehokkaammin alailmakehässä. Tällöin päästöt sekoittuvat myös tehokkaammin, mikä laimentaa pitoisuuksia hengityskorkeudella.

Kuvassa 9 on esitetty SO_2 - ja TRS-pitoisuuksien vuorokausivaihtelut. Nämä yhdisteet ovat yleensä peräisin teollisuuden päästöistä, ja liittyvät teollisuuden, tässä tapauksessa Metsä Fibren tehtaiden, prosesseihin. Tästä syystä niissä ei yleensä havaita selkeää vuorokausivaihtelua. Pitoisuudet olivat koko vuoden aikana hyvin matalia SO_2 :n osalta. Biotuotetehdas oli ajettuna alas kevään ja alkukesän ajan ja ajettiin ylös kesäkuun puolen välin jälkeen. Kesä- ja syyskuukausina voidaankin havaita hieman korkeampia TRS-pitoisuuksia kuin talvi- ja kevätkuukausina. Myös vaihteluväli oli merkittävästi suurempi (liitekuva 20) mikä tarkoittaa, että korkeampia piikkejä esiintyi vuoden puolivälin jälkeen merkittävästi enemmän, mikä myös näkyi tarkastellessa hajutunteja kappaleessa 2.4. TRS-pitoisuudet ovat riippuvaisia tehtaan prosesseista eikä vuorokausivaihtelussa näy selkeää sykliä.



Kuva 8. PM₁₀-, PM_{2.5}-, CO-, NO-, NO₂-tuntipitoisuuksien keskimääräinen vuorokausivaihtelu arkipäivinä ja viikonloppuina eri vuodenaikoina Kemi biotuotetehdas mittausasemalla vuonna 2024.



Kuva 9. SO₂- ja TRS-tuntipitoisuuksien keskimääräinen vuorokausivaihtelu arkipäivinä ja viikonloppuina eri vuodenaikoina Kemi biotuotetehdas mittausasemalla vuonna 2024.

2.7 Pitoisuuksien vertailua muualla mitattuihin pitoisuuksiin

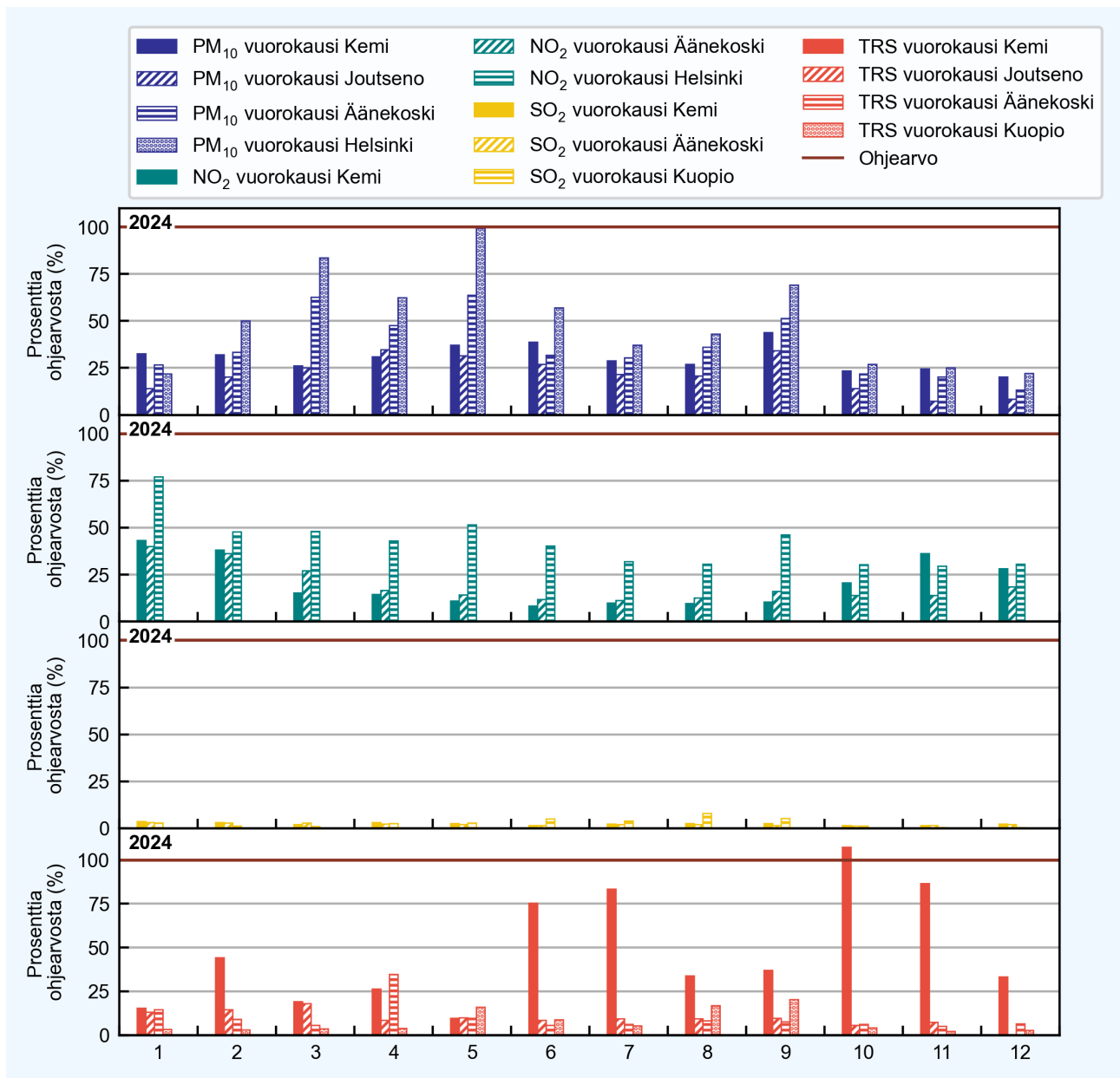
Taulukossa 3 ja kuvassa 10 on esitetty PM₁₀-, NO₂-, SO₂- ja TRS-pitoisuuksia vuoden 2024 mittausjaksolta Kemi biotuotetehdas (Kemi: PM₁₀, NO₂, SO₂ ja TRS) mittausaseman lisäksi, Äänekosken paloasemalta (Äänekoski: PM₁₀, NO₂, SO₂ ja TRS), Joutsenon keskustan (Joutseno: PM₁₀ ja TRS), Kuopio Sorsasalo (Kuopio: SO₂ ja TRS) ja Helsingin keskustan Mannerheimintie (Helsinki: PM₁₀ ja NO₂) sijaitsevilta mittausasemilta (Ilmatieteen laitos, 2025a). Kaikki mitatut pitoisuustulokset on saatu jatkuvatoimisilla laitteilla. Helsingin Mannerheimintie edustaa Suomen mittakaavassa vilkkaainta liikenneympäristöä kaupungin keskusta-alueella. Kuopion Sorsasaloon mittausasema on läheisen aallotuskartonkitehtaan päästöjen vaikutuksia tarkkaileva mittausasema. Joutsenossa sijaitsee Metsä Fibren sellutehdas. Äänekosken paloasemalla tarkkaillaan läheisen metsäteollisuuden sekä ohikulkutien liikenteen päästöjen vaikutusta ilmanlaatuun. Kuvassa 10 esitetyjä arvoja ei ole pyöristetty ohjearvon tarkkuuteen eli kokonaislukuun, vaan esitetään pyöristämättöminä jotta vaihtelu kuu-kausien välillä tulisi paremmin esiin, eivätkä pienimmät pitoisuudet pyöristyisi nolleen.

Vuorokausiohjearvoon verrannolliset PM₁₀- pitoisuudet olivat Kemi biotuotetehdas mittausasemalla kauttaaltaan matalampia tai samaa suuruusluokkaa kuin Äänekoski paloasema ja Joutseno keskusta mittausasemilla. Katupölykauden vaikutus on selvästi nähtävissä Äänekoskella ja varsinkin Helsinki Mannerheimintien mittauksissa.

Vuorokausiohjearvoon verrannolliset NO₂-pitoisuudet Kemi biotuotetehdas mittausasemalla olivat yhtä suuria kuin Äänekoskella, mutta kummankin aseman pitoisuudet olivat selvästi alempia kuin Helsingin Mannerheimintieellä. SO₂-pitoisuuksia tarkastellessa huomataan, että kaikilla vertailtavilla asemilla ohjearvoon verrannolliset pitoisuudet, eli kuukauden 2. korkeimmat, olivat erittäin alhaisia verrattuna ohjearvotasoon. TRS-pitoisuuksiin vaikuttavat eniten paikallisen teollisuuden päästöt ja erityisesti sen häiriöpäästöt. Pitoisuudet voivatkin vaihdella ajallisesti ja paikallisesti hyvinkin paljon, joten yksittäisiä pitoisuuspiikkejä ei olekaan tarkoituksenmukaista vertailla keskenään, vaan lähinnä vertailla pitoisuustasoja yleisemmällä tasolla keskenään. Metsä Fibren uuden biotuotetehtaan uudelleen käynnistyminen näkyy selvästi kohonneina TRS-pitoisuuksina kesä- ja loppuvuoden kuukausina. Niinä kuukausina pitoisuudet Kemi biotuotetehdas mittausasemalla olivat vertailukohteita selkeästi korkeammat.

Taulukko 3. Kemi biotuotetehdas, Äänekoski paloasemalla, Helsinki Mannerheimintie, Kuopio Sorsasalo ja Joutseno keskusta mittausasemilla vuonna 2024 mitatut NO₂-, PM₁₀-, SO₂- ja TRS-vuosikeskiarvopitoisuudet (µg/m³).

Keskiarvo-pitoisuus (µg/m ³)	Kemi biotuotetehdas	Helsinki Mannerheimintie	Kuopio Sorsasalo	Äänekoski paloasema	Joutseno keskusta
NO ₂	9,6	17,3	–	6,0	–
PM ₁₀	15,7	18,1	–	11,8	8,3
SO ₂	0,9	–	1,8	0,9	–
TRS	0,9	–	0,3	0,4	0,6



Kuva 10. Vuorokausiohjearvoon verrattavat PM₁₀-, NO₂-, SO₂ ja TRS-pitoisuudet prosentteina ohjearvosta kuukausittain vuonna 2024 eri mittausasemilla.

3. YHTEENVETO MITTAUSTULOKSISTA

Ilmatieteen laitos tarkkaili ulkoilman laatua vuonna 2024 Kemissä Metsä Fibre Oy:n biotuotetehtaan itäpuolella, sen välittömässä läheisyydessä, Kemijoen toisella puolella. Ilmanlaatua tarkkailtiin yhdessä mittauspisteessä. Mittauksia tullaan jatkamaan kyseisellä paikalla keskeytyksettä ainakin vuoden 2025 loppuun asti nykyisen sopimuksen puitteissa.

Ilmanlaadun tarkkailun tavoitteena oli kartoittaa typen oksidien (NO_x , NO_2 , NO), hengitettävien hiukkasten (PM_{10}), pienhiukkasten ($\text{PM}_{2,5}$), rikkidioksidin (SO_2), haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) sekä hiilimonoksidin (CO) pitoisuustasoja ja hetkellistä vaihtelua alueella. Korkeita PM_{10} -pitoisuuksia havaitaan erityisesti katupölyaikaan, kun taas $\text{PM}_{2,5}$ -pitoisuuksia syntyy yleisesti esimerkiksi puun pienpoltton savukaasuista sekä liikenteen päästöistä. Typen oksideista NO_2 :ta ja NO :ta vapautuu ajoneuvoliikenteen pakokaasuista sekä teollisuuden ja energiantuotannon päästöistä. Liikenteen päästöillä on suurempi vaikutus ilmanlaatuun, koska ne vapautuvat ilmaan läheltä hengityskorkeutta. Korkeiden piippujen kautta vapautuvat päästöt laimenevat ja leviävät tehokkaasti, jolloin niiden vaikutus hengityskorkeudelle jää vähäiseksi. SO_2 - ja TRS-päästöt puolestaan ovat tyypillisesti peräisin teollisuuden tuotantoprosesseista. CO -päästöt ovat peräisin epätäydellisestä palamisesta ja hiilimonoksidia esiintyy erityisesti liikenteen ja lämmityksen päästöissä.

Ilman epäpuhtauksien pitoisuuksiin vaikuttavat kiinteiden lähteiden, kuten teollisuuden ja energiantuotannon päästöt ja liikenteen sekä hajapäästölähteiden kuten asuinrakennusten tulisijojen päästöt. Myös kaukokulkeumalla voi olla ajoittain merkittävää vaikutusta ilmanlaatuun, esimerkiksi pienhiukkaspitoisuuksiin. Vuodenaika, liikenne, kaukokulkeuma ja sääolosuhteet vaikuttavat pitoisuuksiin voimakkaasti. Korkeimmat epäpuhtauspitoisuudet esiintyvät kaupunkialueilla useimmiten stabiileissa heikkotuulisissa tilanteissa ja erityisesti ns. inversiotilanteissa, jolloin ilmakehän pystysuuntainen lämpötilajakauma estää tai rajoittaa epäpuhtauksien laimenemista. Autoliikenne ja puun pienpoltto ovat tyypillisesti merkittävimmät päästölähderyhmittä korkeiden pitoisuuksien muodostumisen kannalta useimmissa maamme kaupungeissa ja kaupunkien asuinalueilla. a.

Hiukkaspitoisuudet ovat tyypillisesti korkeimmillaan keväisin ns. katupölyaikaan, jolloin olosuhteiden pinnan pölyämiselle ovat otolliset, sekä talvella talvirengasaikaan. an. Katupölyä syntyy, kun lumet sulavat keväällä ja talven aikana tien varsille kerääntynyt hiukkasmassa vapautuu ilmaan tuulen ja liikennevirtojen vaikutuksesta katujen kuivuttua. Kitka- ja nastarenkaat aiheuttavat katupölyä voimakkaammin ilmaan kuin kesärenkaat, ja raskaat ajoneuvot nostavat enemmän hiukkasia kuin henkilöautot. Katujen ja teiden kunnossapidolla, oikea-aikaisella siivouksella ja hiekanpoistolla, sekä pölynsidonnalla voidaan vaikuttaa merkittävästi katupölyn määrään sekä ilmanlaatuun. Sateet alenuttavat ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia ja puhdistavat hengitysilmaa.

Ilmanlaatu oli Kemin biotuotetehtaan mittausasemalla vuonna 2024 ilmanlaatuindeksillä arvioituna suurimmaksi osaksi hyvää (yli 80 % tunneista) tai tyydyttävää (yli 10 % tunneista). Ilmanlaatuindeksikuvaa vallitsevaa ilmanlaatuutilannetta viisiportaisella sanallisella asteikolla: hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono tai erittäin huono. I. Pääosin huonoja (alle 1 %) ja erittäin huonoja (0,1 %) ilmanlaatuilanteet johtuivat korkeista TRS-pitoisuuksista. Kaiken kaikkiaan huonon ja erittäin huonon ilmanlaadun tunnit ovat vähentyneet merkittävästi aiempiin vuosiin 2021–2023 nähden.

Kaikki mitatut ilman epäpuhtauspitoisuudet alittivat selvästi niille asetetut raja-arvot vuonna 2024 ja yhdisteiden raja-arvoon vertailtavat pitoisuudet olivat samansuuruisia tai alempia kuin aikaisempina vuosina. Vuonna 2024 vuosi- ja vuorokausiraja-arvoon verrannolliset PM_{10} -pitoisuudet olivat korkeimmillaan 34 % ja 22,5 % raja-arvosta. Vuosiraja-arvoon verrannollinen $\text{PM}_{2,5}$ -pitoisuus oli 20 %. Vuosi- ja tuntiraja-arvoon verrannolliset NO_2 -pitoisuudet olivat järjestyksessä 31 % ja 17,5 % raja-arvosta. Vuorokausi- ja tuntiraja-arvoon verrannolliset SO_2 -pitoisuudet olivat 1,7 % ja 2,4 %. Tuntiraja-arvoon verrannollinen CO -pitoisuus oli 10 % raja-arvosta. Vuorokausiraja-arvotason ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 35 ylitystä sallitaan vuodessa) ylittäviä PM_{10} -pitoisuuksia ei havaittu yhtään vuonna 2024.

Vuonna 2024 mitattujen pitoisuuksien ohjearvot ylittyivät vain TRS-pitoisuuksien osalta lokakuussa. Ohjearvoon verrattavista PM₁₀-pitoisuuksista (kuukauden 2. korkein vuorokausiarvo) korkein arvo mitattiin syyskuussa (44,3 % ohjearvosta). Vastaavista vuorokausiohjearvoon verrattavista sekä tuntiohjearvoon verrattavista (kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste) NO₂-pitoisuuksista korkeimmat arvot mitattiin tammikuussa (42,9 % vuorokausiohjearvosta ja 46,0 % tuntiohjearvosta). Ohjearvoon verrannolliset SO₂-pitoisuudet olivat korkeimmillaan 3,8 % ohjearvosta. Korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen TRS-pitoisuus mitattiin lokakuussa (110,0 % ohjearvosta) joka ylitti ohjearvon ja lisäksi korkeita ohjearvoon verrannollisia pitoisuuksia mitattiin myös kesä- (80,0 % ohjearvosta), heinä- (80,0 % ohjearvosta) ja marraskuussa (90,0 % ohjearvosta). Ohjearvoon verrattavat CO-pitoisuudet olivat korkeimmillaan 12,5 % ohjearvosta.

Vuonna 2024 vallitsevat tuulensuunnat olivat kaakon ja lännen väliseltä sektorilta. Tuulennopeudet olivat mittausjaksolla heikkoja, jääden pääosin alle 4 m/s kaikissa suuntasektoreissa. PM₁₀-, PM_{2,5}- ja NO₂-tuntipitoisuuksien tyynien tilanteiden (tuulen nopeus < 0,5 m/s) keskipitoisuus oli korkeampi kuin tuullessa. Tämä viittaa siihen, että lähipäästöt (Kemin Biotuotetehtäsalueen hajapäästöt, lähiliikenne ja rekkaparkki, lähiasutus) vaikuttivat PM₁₀-, PM_{2,5}- ja NO₂-pitoisuuksiin merkittävimmin Kemin biotuotetehtaan mittausasemalla. PM₁₀-, PM_{2,5}-, NO-, NO₂- ja CO-tuntipitoisuuksissa keskimäärin havaittiin korkeampia pitoisuuksia tuullessa koillisen ja kaakon väliseltä sektorilta, joka viittaa Pajusaarentien liikenteen päästöjen vaikutukseen. PM_{2,5}-pitoisuuksissa myös etelän sektori korostuu korkeampina keskimääräisinä pitoisuuksina verratessa muihin tuulen suuntiin. Korkeimmat keskimääräiset TRS-tuntipitoisuudet mitattiin tuullessa lounaan ja lännen puolelta ja korkeimmat SO₂-tuntipitoisuudet painottoivat lännen ja kaakon puolelta. Metsä Fibre Oy:n teollisuusalueen rikkidioksid- ja pelkistyneiden rikkijyhdisteiden päästöt vaikuttivat selvästi Kemin Biotuotetehtaan mittausasemalla mitattuihin SO₂ ja TRS-pitoisuuksiin.

Vuoden 2024 mittauksissa ei näy selkeätä katupölykautta kevään aikana PM₁₀-pitoisuuksissa, toisin kuin aikaisempina vuosina. Kevätkuukausina PM₁₀-pitoisuudet ovat hieman korkeampia keskimäärin kuin muina vuodenaikoina, mutta ei niin merkittävästi kuten aiemmin. Liikenne on siirtynyt pois tieltä, jonka varrella mittausasema sijaitsee ja nyt lähin tie on n. 200 metrin päässä idän suuntaan ja jolla on lähinnä henkilöautoliikennettä. Raskaampi liikenne on siirtynyt uudelle tielle mittausasemasta etelään ja mittausaseman vieressä etelän puolella sijaitsee rekkaliikenteen parkkipaikka ja punnitusasema. Autoliikenteen vaikutus näkyy Kemi biotuotetehtas -mittausaseman mittauksissa kylmempien kuukausien aamujen ja iltapäivien/iltojen vilkkaimmin liikennöityinä aikoina. Yleensä kylmempinä vuodenaikoina autoliikenteen aiheuttamat typenoksidien aamu- ja iltapäiväpiikit näkyvät selvimmin koska ilma ei sekoitu niin tehokkaasti alailmakehässä ja päästöt jäävät hengityskorkeuksille herkemmin kuin esimerkiksi kesällä. Talvikuukausina on myös hyvin tyypillistä, että hiukkaspitoisuudet kumuloituvat päivän mittaan koska sekoittuminen on heikkoa. Keväällä ja kesällä taas auringon lämmittävästä vaikutuksesta johtuvat nousevat pystyvirtaukset sekoittavat ilmaa tehokkaammin alailmakehässä pystysuunnassa. Tällöin myös päästöt sekoittuvat tehokkaammin, mikä laimentaa pitoisuuksia hengityskorkeudella.

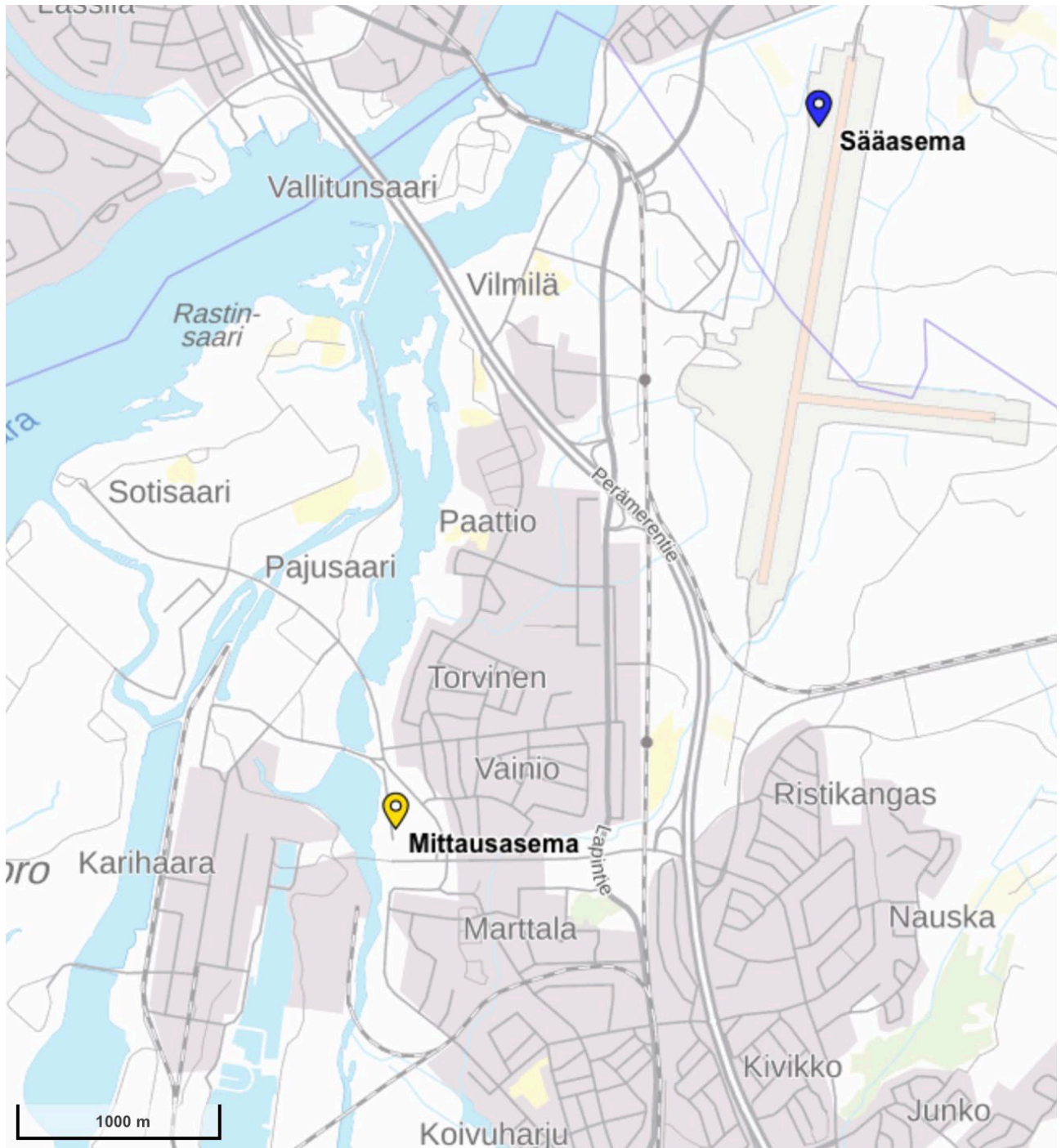
4. TUTKIMUKSEN SUORITUS

4.1 Tutkimuskohde

Ilmatieteen laitos aloitti ilmanlaadun mittaukset Metsä Fibren Kemin tehdasalueen läheisyydessä 17.6.2021. Mittauksia tullaan jatkamaan keskeytyksettä samassa paikassa vuoden 2025 loppuun asti. Mittausasema sijaitsee Metsä Fibren tehdasalueen ja Kemijoen itäpuolella melko avoimessa ympäristössä. Mittauspiste sijaitsee laajan teollisuusalueen itä/koillispuolella. Etäisyys Kemin keskustaan on noin 2,5–3 km. Lähimmät päästölähteet ovat autoliikenne, vuoden 2023 syksyllä käynnistynyt Metsä Fibren Kemin biotuotetehdas Kemijoen länsipuolella noin 300 m–1 km:n päässä mittausasemalta, Metsä Fibren sellutehdas n. 1 km päässä lounaaseen, sekä pientaloalue koillisen ja idän puolella muutaman sadan metrin etäisyydellä. Kemissä sijaitsee myös Veitsiluodon teollisuusalue. Siellä toimi paperitehdas n. 10 km kaakkoon mittausasemalta, jonka operoimisen Stora Enso lopetti vuoden 2021 syyskuussa.



Kuva 11. Ilmakuva Metsä Fibren Kemin tehdasalueesta ja lähimmäistä asuinalueesta sekä Kemi biotuotetehdas mittausasema merkittynä keltaisella symbolilla (Maanmittauslaitos, ortokuva-sarja-ainesto, 4/2025).



Kuva 12. Kartta alueesta, johon on merkitty Metsä Fibren Kemin tehdasalueen läheisyydessä Kemi biotuotetehdas mittausasema keltaisella symbolilla ja lähimmän Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä automaattinen sääasema sinisellä symbolilla (muokattu Maanmittauslaitoksen selkokarttasarja-aineistosta 4/2025).

4.2 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät

Pajusaarentien mittauspisteeseen tuotiin mittauskontti, jossa kaikki mittauksiin liittyvät toiminnot tapahtuvat häiriöttä ja mittausolosuhteet pysyvät stabiileina. Mittausasemalla mitattiin jatkuvatoimisilla automaattisilla analysaattoreilla typen oksidien (NO, NO₂ ja NO_x), halkaisijaltaan alle 10 µm suuruisen hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) ja alle 2,5 µm suuruisen pienhiukkasten (PM_{2,5}), rikkidioksidin (SO₂) ja haisevien rikkiyhdisteiden (TRS), sekä lokakuun 2021 alusta alkaen hiilimonoksidin (CO) pitoisuuksia. Mittalaitteet ja mittausmenetelmät on esitelty taulukossa 4. Kaikkien laitteiden näytteenotto tapahtui mittausaseman katolla olevista näytteenottimista noin 3,5 metrin korkeudelta. Lisäksi mittausasemalla havainnoitiin tuulen suuntaa ja nopeutta, ulkoilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja ilmanpainetta (taulukko 4). Säämittausanturin korkeus oli noin 4 metriä maanpinnan tasosta. Kontin ilmastointi on järjestetty niin, ettei poistoilmavirta häiritse näytteenottoa, eivätkä poistoilman epäpuhtaudet pääse näytteenottimiin.

Taulukko 4. Metsä Fibren Kemin tehdasalueen lähistöllä ilmanlaadun mittauksissa käytetyt menetelmät ja laitteet.

Mitattava komponentti	Mittausmenetelmä	Mittalaite
Typen oksidit	Kemiluminesenssi	TEI 42i
Hengitettävät hiukkaset	Valon sironta	Palas Fidas 200E
Pienhiukkaset	Valon sironta	Palas Fidas 200E
Rikkidioksidi	UV-fluoresenssi	TEI 43i
Haisevat rikkiyhdisteet	UV-fluoresenssi + konvertteri	TEI 43i + PPM891 konvertteri
Hiilimonoksidi	Valon absorptio	Teledyne RD Instruments T300U
Meteorologiset tiedot		Vaisala WXT530



Kuva 13. Ilmanlaadun mittausasema Kemissä Metsä Fibren tehdasalueen lähistöllä. Ulkoilma imetään mittalaitteisiin kontin katolla sijaitsevien näytteenottimien läpi. Lisäksi katolla on säänmittausanturi. Valokuva: Toni Mattila.

Typen oksidien (NO_x) mittauksissa käytettiin kemiluminesenssiin perustuvaa määrittämenetelmää. Typen oksidien mittaukset perustuvat EU:n referenssimenetelmään, joka on kuvattu standardissa *EN 14211:2012 Ambient air quality – Standard method for the measurement of the concentration of nitrogen dioxide and nitrogen monoxide by chemiluminescence*.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuutta mitattiin valon sirontaan perustuvalla menetelmällä. Hengitettävien hiukkasten jatkuvatoimiset mittaukset perustuvat standardiin *SFS-EN 16450:2017 Ambient air – Automated measuring systems for the measurement of the concentration of particulate matter ($\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2.5}$)*. $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2.5}$ -hiukkasten gravimetrinen referenssimenetelmä on kuvattu standardissa *EN 12341:2014*. Ilmatieteen laitoksen käyttämien automaattisten hiukkasanalysaattoreiden antamien tulosten vastaavuus $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2.5}$ -hiukkasten gravimetrisen referenssimenetelmään on osoitettu tutkimuksessa Saarnio ym. (2021).

Rikkidioksidin mittauksissa käytettiin UV-fluoresenssiin perustuvaa määrittämenetelmää. Mittaukset perustuvat EU:n referenssimenetelmään, joka on kuvattu standardissa *SFS-EN 14212:2012. Ambient air - Standard method for the measurement of the concentrations of sulphur dioxide by ultraviolet fluorescence*. Haisevien rikkiyhdisteiden kokonaispitoisuutta määritetään hapettamalla rikkiyhdisteet korkeassa lämpötilassa ns. konvertterissa rikkidioksidiksi. Tämän jälkeen myös TRS-laitteessa mitataan rikkidioksidin kokonaispitoisuutta UV-fluoresenssimenetelmällä.

Hiilimonoksidin mittauksissa käytettiin valon absorptioon perustuvaa määritysmenetelmää. Jatkuva-toimiset mittaukset perustuvat standardiin SFS-EN 14626:2012 Ambient air – Standard method for the measurement of the concentration of carbon monoxide by nondispersive infrared spectroscopy.

Jatkuvatoimisten mittalaitteiden mittaustulokset kerättiin minuuttiarvoina mittauksia ohjaavalle tietokoneelle, jolta ne siirrettiin edelleen minuuttiarvoina langattomasti modeemiyhteyden kautta Ilmatieteen laitoksen palvelimelle raakadatatiekantaan ja siitä edelleen tallennettavaksi muihin tietokantoihin. Raakadatatiekannassa mittaustulokset pysyvät aina muuttumattomina, jolloin alkuperäiset arvot ovat myöhemminkin tarvittaessa saatavilla. Minuuttiarvoista määritettiin tuntikeskiarvot ja vuorokausikeskiarvot ja muut pidemmän jakson keskiarvot. Mittaustulokset korjattiin kalibrointitulosten perusteella ja laitteiden toimintahäiriöistä johtuneet virheelliset arvot poistettiin. Mittauksia seurattiin etävalvontana Ilmatieteen laitokselta Helsingistä.

4.3 Mittausepävarmuus ja hiukkasmittausten vertailukelpoisuus

Toteutettujen mittausten epävarmuudet täyttävät mittauksille lainsäädännössä asetetut laatutavoitteet (taulukko 5). Mittausepävarmuudet typenoksidimittauksille on määritetty Ilmanlaadun mittausohjeen mukaan (Ilmatieteen laitos, 2017).

Typpidioksidimittausten mittausepävarmuudeksi tuntiraja-arvon pitoisuustasolla on määritetty 11,3 %. Havaintoraja käytetyillä analysaattoreilla on noin 0,4 ppb. Rikkidioksidimittausten mittausepävarmuudeksi on määritetty 10,1 %. TRS-mittausten mittausepävarmuus pitoisuustasolla, joka vastaa vuorokausiohjetta, arvioidaan olevan noin 13 %. Pelkistyneiden rikkiyhdisteiden mittausepävarmuus on määritetty rikkidioksidimittauksille määritetyn epävarmuuden ja kalibrointien perusteella ja sen lisäksi on tehty arvio TRS-uunin aiheuttamasta lisäepävarmuudesta. Havaintoraja käytetyillä analysaattoreilla on noin 0,4–1 ppb. Hiilimonoksidin mittausepävarmuudeksi kahdeksan tunnin liukuvan keskiarvon raja-arvopitoisuustasolla on määritetty 14,8 %.

Hiukkasmassan määrittämisen standardissa (EN 12341:2014) määritetty ns. referenssimenetelmä on gravimetrinen määrittäminen vuorokausikeskiarvolle. Kullekin Suomessa käytettävälle jatkuvatoimiselle hiukkasmittalaitteelle on osoitettu laitteen ekvivalenttisuus eli vertautuvuus referenssimenetelmään, ja kertoimia käyttämällä eri mittalaitteilla mitatut hiukkasmittaustulokset ovat keskenään vertailukelpoisia. Määritettyjä korjauskertoimia käyttämällä tässä tutkimuksessa käytettyjen hiukkasmittalaitteiden tuottamat tulokset ovat vastaavia referenssimenetelmää vastaan.

Mittausarvojen oletettu vaihtelu eli mittausepävarmuus on positiivinen luku, joka on saatu käytettävissä olevien tietojen perusteella. Yleisesti, mittausten yhteydessä on tärkeää tietää mittauksen epävarmuus, koska muuten mittaustuloksesta ei voida luotettavasti tehdä johtopäätelmiä (Hiltunen yms., 2011). Jatkuvatoimisilla hiukkasmittalaitteilla mittausepävarmuus saa olla korkeintaan 25 %. Tämä kriteeri täyttyy tämän raportin kuvaamissa mittauksissa ja käytettyjen mittalaitteiden osalta.

Palas Fidas 200E hiukkasmonitorin kertoimet ja mittausepävarmuudet on määritetty Ilmatieteen laitoksen raportissa Saarnio ym. (2021). Raportin mukaan Fidaksen korjauskerroin PM₁₀-hiukkasmassalle on 0,95 ja PM_{2,5}-hiukkasmassalle 0,915. Vastaavat mittausepävarmuudet ovat 15,8 % ja 7,2 %. Fidaksen soveltuvuus Suomen oloihin on osoitettu (Saarnio ym., 2021) ja vastaavuustesti on tällä hetkellä menossa Ilmatieteen laitoksella. Ilmatieteen laitoksen vertailulaboratorio on hyväksynyt tutkimuksessa käytetyn hiukkasmittalaitteen käytettäväksi Suomessa.

Taulukko 5. Laatutavoitteet jatkuvien mittausten sallitulle epävarmuudelle, mittausten ajalliselle kattavuudelle ja mittausaineiston vähimmäismäärälle (Vna 38/2011; Vna 164/2007).

Jatkuvat mittaukset	NO ₂ , NO _x , SO ₂ , CO	PM ₁₀ , PM _{2,5}	SO ₂
Sallittu epävarmuus	15 %	25 %	50 %
Aineiston vähimmäismäärä	90 %	90 %	90 %
Ajallinen kattavuus	100 %	100 %	33 %

4.4 Kalibrointimenetelmät, laadunvarmistus ja laitehuollot

Kemi Pajusaarentien ilmanlaadun mittaukset suoritettiin kansallisen ilmanlaadun mittausohjeen (*Ilmatieteen laitos, 2017*) sekä Ilmatieteen laitoksen ilmanlaatumittausten laatujärjestelmän mukaisesti (https://expo.fmi.fi/aqes/public/Ilmatieteen_laitoksen_ilmanlaatumittausten_laatujaarjestelmien_kuvaus.pdf).

Ilmanlaadun seurannan laadunvarmennuksessa kiinnitettiin huomiota kalibrointien suorittamiseen, kalibrointien jäljitettävyyteen ja laitteiden toimintaan. Typen oksidien, rikkidioksidin, haisevien rikkiyhdisteiden ja hiilimonoksidin mittalaitteiden kalibroinnit tehtiin monipistekalibroinnin (4–5 pitoisuutta) avulla noin 3 kk välein. Mittausaineisto korjattiin matemaattisesti kalibrointitulosten perusteella. Kalibrointien yhteydessä tehtiin laitehuollot ja näytteenottolinjojen puhdistukset. Analysaattorien hiukkassuodattimet vaihdettiin kalibrointien yhteydessä.

Typen oksidien mittalaite kalibroitiin käyttäen typpimonoksidikaasua (NO), rikkidioksidilaite käyttäen rikkidioksidikaasua (SO₂) ja haisevien rikkiyhdisteiden mittalaite käyttäen rikkivetykaasua (H₂S), joita laimennettiin erillisen kenttälaimentimen avulla halutuille pitoisuustasoille. Laimennuksesta tuotettiin kalibrointipitoisuusarvot, jotka oli varmennettu (kalibroitu) ilmanlaatumittausten kansallisessa vertailulaboratoriossa jäljitettävästi kalibroitua analysaattoria vastaan. Kenttälaimentimen tuottamien pitoisuuksien jäljitettävyys siirtyi laboratorion oman jäljen kautta ainemäärään (mooli). Laimennuskaasuna käytettiin suodatettua ilmaa. Typen oksidien kaasunormaalina käytettiin kaasupulloa ja rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden kaasunormaalina käytettiin permeaatioputkia. Kalibrointien perusteella Metsä Fibren Kemin biotuotetehtaan ilmanlaadun seurannan typen oksidien, rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuusmittaukset on jäljitetty kansalliseen mittanormaaliin ja sitä kautta ainemäärään. Ilmatieteen laitoksella sijaitseva kansallinen vertailulaboratorio on Turvallisuus- ja kemikaaliviraston akkreditointiyksikön (FINAS) akkreditoima kalibrointilaboratorio K043. Hiukkasmittalaite kalibroitiin valmistajan ja standardin SFS-EN 16450:2017 ohjeiden mukaisesti. Hiukkasmittaustulokset korjattiin vertailumittausten (Walden ym., 2017 ja Walden ym., 2018) mukaisella ekvivalenttisuuskertoimella.

Ohjearvoon vertaaminen edellyttää, että vuorokausipitoisuuksia on vähintään 75 % kuukauden vuorokausien lukumäärästä. Tämä vaatimus täyttyi mittausasemalla kaikkien komponenttien osalta kaikkina kuukausina lukuun ottamatta hiilimonoksidia kesäkuun osalta.

Raja-arvojen ylittymisen valvontaan käytettävissä jatkuvissa mittauksissa aineiston vähimmäismäärä on 90 % kalenterivuoden tunneista, mikä ei kuitenkaan sisällä laitteiden säännöllisestä kalibroinnista tai normaalista kunnossapidosta aiheutuvaa tietohukkaa. Aineiston vähimmäismäärän laatu-tavoite täyttyi mittausjaksolla kaikilla raja-arvoihin verrattavilla ilman epäpuhtauksilla.

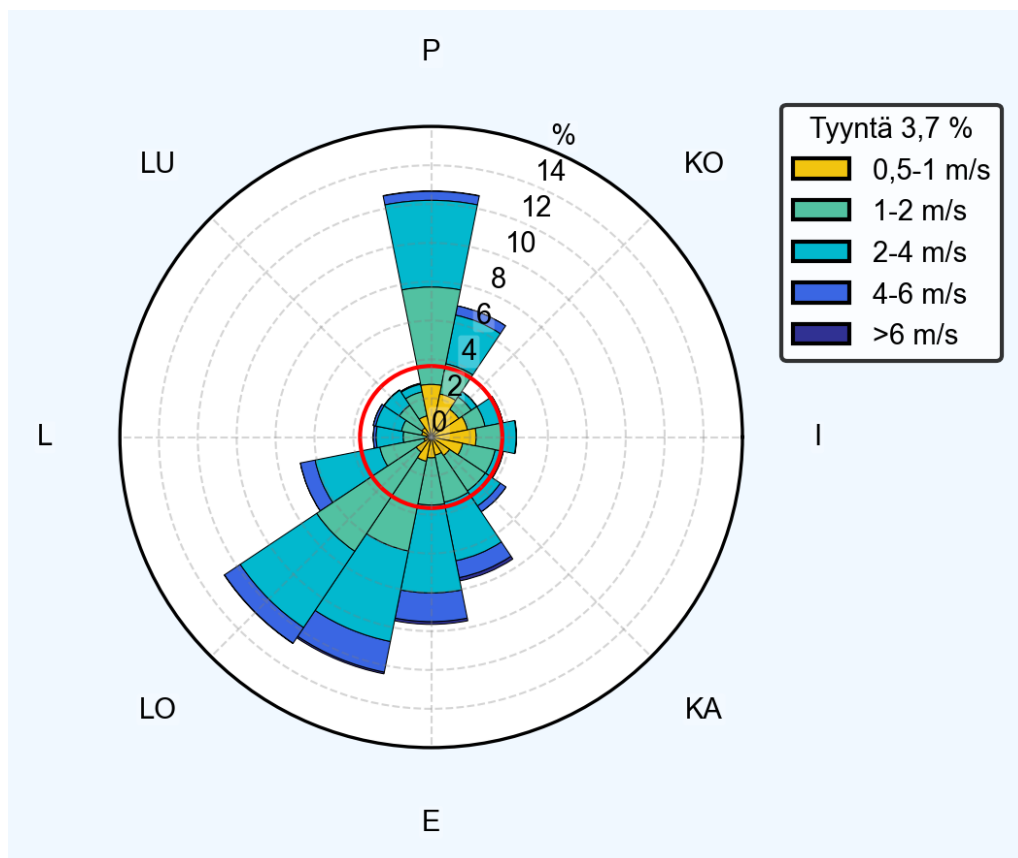
5. SÄÄTIEDOT

5.1 Tuulitiedot

Kemi biotuotetehdas mittausasemalla mitatuista tuulista tyynien tilanteiden osuus oli noin 3,7 % mittausjakson tunneista. Tyyniksi katsotaan tässä tarkastelussa tunnit, jolloin tuulen nopeus oli alle 0,5 m/s. Tuulianturi sijaitsi noin 4 metrin korkeudella maanpinnasta mittausaseman katolla.

Kuvassa 14 on esitetty vuoden 2024 mittausjakson tuuliruusu eli tuulensuuntien ja -nopeuksien kuvaaja. Tuuliruusukuvaajassa etäisyys keskipisteestä vastaa kunkin tuulisektorin tuulien prosentuaalista osuutta jakson tuulista. Tyynet tapaukset on kuvattu ympyrällä, jonka säteen pituus kertoo tyynien tilanteiden prosentuaalisen osuuden kaikista tuulihavainnoista. Tuuliruususta nähdään myös tuulten nopeusjakaumat tuulensuuntasektoreittain. Eri tuulennopeuksien prosentuaaliset osuudet saadaan vertaamalla sektoreiden kunkin nopeusluokan pituutta prosenttiasteikkoon.

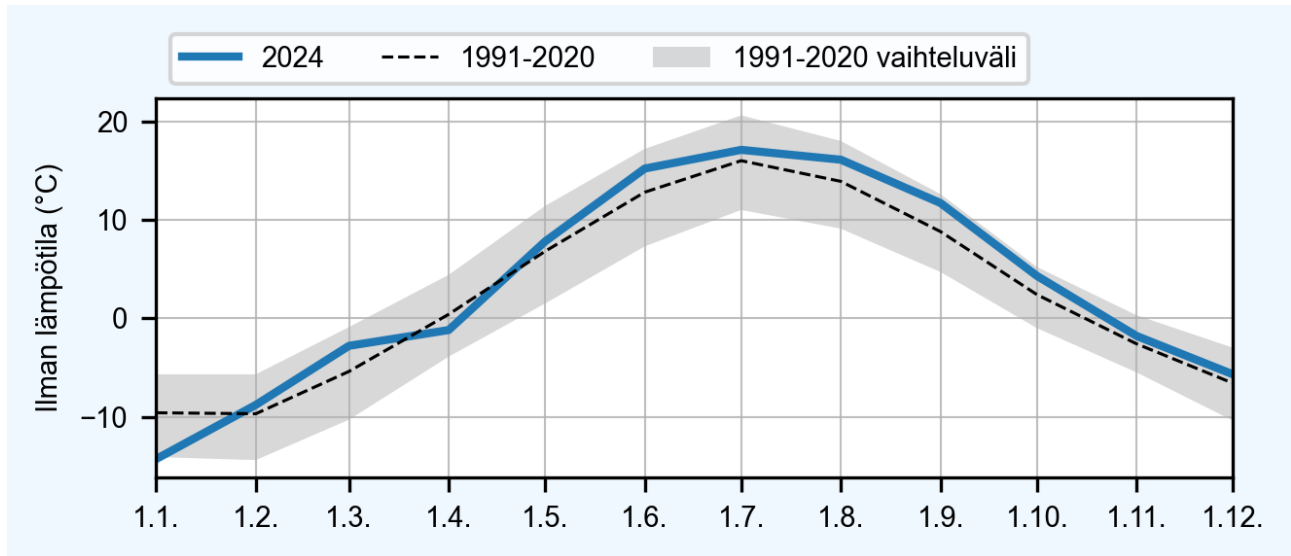
Tuulen suunnalla tarkoitetaan meteorologiassa suuntaa, josta tuuli puhaltaa. Kun tuulta mitataan ja ilmoitetaan tuulen suunta, tarkoitetaan aina, että tuuli puhaltaa kyseisestä ilmansuunnasta havaitsejaa kohti. Niinpä etelätuuli puhaltaa etelästä ja länsituuli lännestä, jne. Kemi biotuotetehdas mittausasemalla vallitsevat tuulensuunnat olivat tällä mittausjaksolla lounas sekä pohjoinen. Tuulennopeudet olivat mittausjaksolla heikkoja, jääden pääosin alle 4 m/s kaikissa suuntasektoreissa.



Kuva 14. Kemi biotuotetehdas mittausasemalla mitatut tuulensuunnat (ilmansuuntasektorit) ja tuulennopeudet (m/s) vuonna 2024. Tyynien tilanteiden osuus oli 5 % kaikista tuulista. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu alle 0,5 m/s tuulen nopeudet.

5.2 Keskilämpötilat

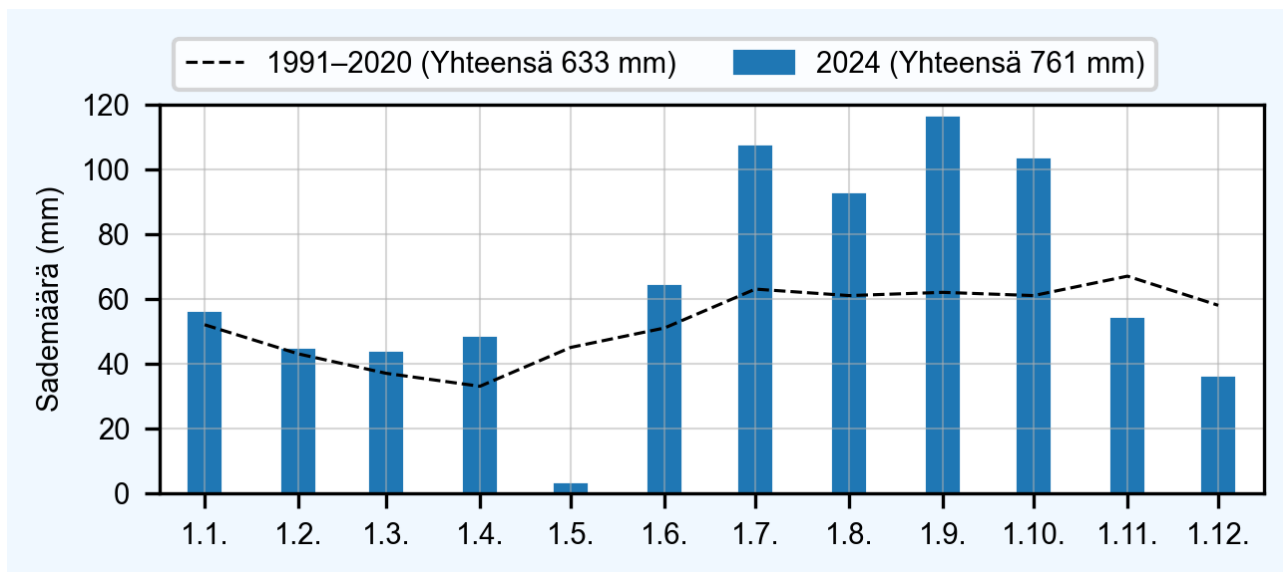
Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä Kemi-Tornio lentoaseman sääasema on Kemiä lähimpänä sijaitseva virallinen sääasema. Kuvassa 15 on esitetty tällä sääasemalla mitattuja vuoden 2024 keskilämpötiloja (*Ilmatieteen laitos, 2025b*) verrattuna ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 lämpötiloihin (*Jokinen, ym., 2021*). Lämpötila oli mittausjakson keväällä ja kesällä vertailukautta lämpimämpi, tammi-kuussa selvästi kylmempi ja marras-joulukuussa vertailujaksoa vastaava.



Kuva 15. Lämpötilan kuukausikeskiarvot Kemi-Tornion lentoasemalla vuonna 2024 ja ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 pitkäaikaikeskiarvoihin nähden.

5.3 Sademäärät

Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä Tornion Torppi sääasema on Kemiä lähimpänä sijaitseva sademäärää mittaava virallinen sääasema. Kuvassa 16 on vertailtu tällä sääasemalla mitattuja vuoden 2024 kuukausisademääriä (*Ilmatieteen laitos, 2025b*), joita on verrattu ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 sademääriin (*Jokinen, ym., 2021*). Vuoden kokonaissademäärä Tornion Torppi asemalla oli noin 761 mm, joka on pienempi kuin vertailukauden 1991–2020 vuosisademäärä 633 mm.



Kuva 16. Kuukausisademäärät Ilmatieteen laitoksen Tornio Torppi sääasemalla vuonna 2023 ja vertailukaudella 1991–2020.

5.4 Ilmanlaatuun vaikuttavat säätekijät

Ilman epäpuhtauksien päästöistä suurin osa vapautuu ilmakehän alimpaan kerrokseen, jota kutsutaan rajakerrokseksi. Rajakerroksessa päästöt sekoittuvat ympäröivään ilmaan ja ilman epäpuhtauksien pitoisuudet laimenevat. Päästöt voivat levitä liikkuvien ilmamassojen mukana laajoille alueille. Tämän kulkeutumisen aikana ilmansaasteet voivat reagoida keskenään sekä muiden ilmassa olevien yhdisteiden kanssa muodostaen uusia yhdisteitä. Ilman epäpuhtaudet poistuvat ilmasta sateen huuhtomina, kuivalaskeumana erilaisille pinnoille tai kemiallisen muutunnan kautta.

Ilman epäpuhtauksien leviämisen ja laimenemisen kannalta keskeisiä meteorologisia tekijöitä ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiilisuus ja sekoituskorkeus. Rajakerroksen tuuliolosuhteet määräävät karkeasti ilmansaasteiden kulkeutumis suunnan, mutta rajakerroksen ilmapvirtausten pyörteisyys ja kerroksen korkeus vaikuttavat merkittävästi ilmansaasteiden sekoittumiseen ja pitoisuuksien laimenemisen kulkeutumisen aikana. Rajakerroksen korkeus määrittää sen ilmatilavuuden, johon päästöt voivat välittömästi sekoittua ja laimentua. Rajakerroksen korkeus on Suomessa tyypillisesti alle kilometrin, mutta varsinkin kesällä se voi nousta yli kahteen kilometriin. Matalimmat rajakerroksen korkeudet havaitaan yleensä talvella kovilla pakkasilla. Ilmakehän stabiilisuudella tarkoitetaan ilmakehän herkkyyttä pystysuuntaiseen sekoittumiseen. Stabiilisuuden määrää ilmakehän pystysuuntainen lämpötilarakenne, mutta siihen vaikuttavat myös auringon säteily, tuuli ja maanpinnan laatu. Stabiiliustilan ollessa vakaa ilmakehän sekoittuminen on vähäistä. Jos tila on epävakaa, sekoittuminen on voimakasta ja ilmaan päässeet epäpuhtaudet laimenevat nopeasti.

Inversiolla tarkoitetaan tilannetta, jossa ilmakehän lämpötila nousee ylöspäin mentäessä. Erityisesti maanpintainversion aikana ilmanlaatu voi paikallisesti huonontua nopeasti. Maanpintainversiossa maanpinta ja sen lähellä oleva ilmakerros jäähtyy niin, että kylmempi ilma jää ylempänä olevan lämpimämmän ilman alle. Kylmä pintailma ei raskaampana pääse kohoamaan yläpuolellaan olevan lämpimän kerroksen läpi, ja ilmakehän pystysuuntainen liike estyy. Inversiokerroksessa tuuli on hyvin heikkoa ja näin ollen ilmaa sekoittava pyörteisyys on vähäistä, minkä vuoksi ilmansaasteiden pitoisuudet laimenevat huonosti. Inversiotilanteissa pitoisuudet kohoavat, koska ilmansaasteet kerääntyvät matalaan ilmakerrokseen päästölähteiden lähelle.

Korkeimmat pitoisuudet esiintyvät kaupunkialueilla useimmiten stabiileissa heikkotuulisissa tilanteissa voimakkaan maanpintainversion vallitessa. Autoliikenne on haitallisin päästölähderyhmä korkeiden pitoisuuksien muodostumisen kannalta useimmissa maamme kaupungeissa. Liikenteen päästöjen osuus monien ilman epäpuhtauksien päästöistä on huomattava ja pakokaasut pääsevät suoraan ihmisten hengityskorkeudelle. Korkeista piipuista vapautuvat energiantuotannon ja teollisuuden päästöt saattavat joskus purkautua matalien maanpintainversioiden yläpuolelle, jolloin ne eivät juuri vaikuta pitoisuuksiin lähellä maanpintaa lähialueellaan.

Keväisin merkittävin ilmanlaatuhaittojen aiheuttaja on katupöly. Katupölyä syntyy, kun lumet sulavat keväällä ja talven aikana tien varsille kerääntynyt hiukkasmassa vapautuu ilmaan tuulen ja liikennevirtojen vaikutuksesta katujen kuivuttua. Lumien sulamisvedet, sateet ja pölynsidonta suolaliuoksella hillitsevät keväistä pölyämistä. Sateet alentavat myös muina vuodenaikoina väliaikaisesti ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia ja puhdistavat hengitysilmaa.

6. TAUSTATIETOA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA

6.1 Typen oksidit

Typen yhdisteitä vapautuu päästölähteistä ilmaan typen oksideina eli typpimonoksidina (NO) ja typpidioksidina (NO₂). Näistä yhdisteistä terveysvaikutuksiltaan haitallisempaa on typpidioksidi, jonka pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoilla. Typpidioksidin määrään ilmassa vaikuttavat myös kemialliset muutuntareaktiot, joissa typpimonoksidi hapettuu typpidioksidiksi.

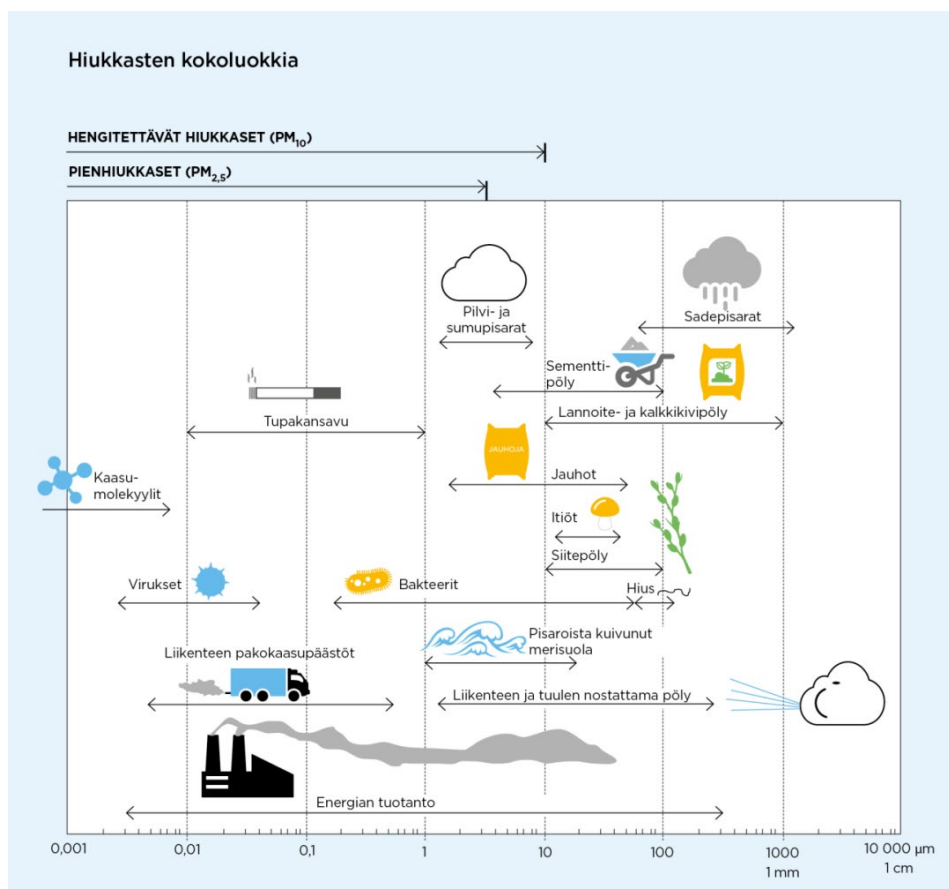
Ulkoilman typpidioksidipitoisuuksille altistuminen on suurinta kaupunkien keskustojen ja taajamien liikenneympäristöissä. Typpidioksidipitoisuudet kohoavat tyypillisesti ruuhka-aikoina. Korkeimmillaan typpidioksidipitoisuudet ovat erityisesti tynninä ja kylminä talvipäivinä, jolloin myös energiantuotannon päästöt ovat suurimmillaan. Taajamien ja kaupunkien korkeimmat typpidioksidipitoisuudet aiheuttavat pääasiassa ajoneuvoliikenne, vaikka energiantuotannon ja teollisuuden aiheuttamat päästöt (pistemäiset päästölähteet) olisivat määrällisesti jopa suurempia autoliikenteeseen verrattuna. Ihmiset altistuvat helposti liikenteen päästöille, sillä autojen pakokaasupäästöt vapautuvat hengityskorkeudelle.

Typpidioksidin vuosiraja-arvo 40 µg/m³ alittuu nykyisin Suomessa. Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet viime vuosina suurimmissa kaupungeissa keskimäärin 15–25 µg/m³. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli 25 µg/m³. Pienissä ja keskiuurissa kaupungeissa typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat yleensä noin 5–15 µg/m³ mittausympäristöstä riippuen. Typpidioksidin tuntipitoisuudet voivat kohota yli raja-arvotason (200 µg/m³) yksittäisillä mitausasemilla muutamina tunteina vuodessa. Ylitystunteja saa olla vuodessa 18 kpl, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Puhtailla tausta-alueilla typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat olleet Etelä-Suomessa noin 1,5–4 µg/m³ ja Pohjois-Suomessa noin 1 µg/m³ (*Ilmatieteen laitos, 2024 c*).

6.2 Hiukkaset

Ulkoilman hiukkaset ovat nykyisin merkittävimpiä ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä Suomen kaupungeissa. Pienhiukkasia pidetään haitallisimpana ilmaperäisenä ympäristötekijänä ihmisten terveydelle. Ulkoilman hiukkaset ovat taajamissa suurelta osin peräisin liikenteen ja tuulen nostattamasta katupölystä (ns. resuspensio) eli epäsuorista päästöistä. Hiukkaspitoisuuksia kohottavat myös ihmisperäiset suorat hiukkaspäästöt, jotka ovat peräisin energiantuotannon ja teollisuuden palamisprosesseista, autojen pakokaasuista ja puun pienpoltosta. Nämä hiukkaspäästöt ovat pääasiassa pieniä hiukkasia. Hiukkasiin on sitoutunut myös erilaisia haitallisia yhdisteitä kuten hiilivetyjä ja raskasmetalleja.

Ulkoilman hiukkasten koko on yhteydessä niiden aiheuttamiin erilaisiin vaikutuksiin. Suurempien hiukkasten korkeat pitoisuudet vaikuttavat merkittävimmin viihtyvyyteen ja aiheuttavat likaantumista. Terveysvaikutuksiltaan haitallisempia ovat ns. hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, jotka kykenevät tunkeutumaan syväälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettävälle hiukkasille, joiden halkaisija on alle 10 mikrometriä (PM_{10}), on annettu ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat erityisesti keväällä, jolloin jauhautunut hiekoitushiekka ja asfalttipöly nousevat ilmaan kuivilta kaduilta liikenteen nostattamana. Pienhiukkaset, joiden halkaisija on alle 2,5 mikrometriä ($PM_{2,5}$), ovat pääasiassa peräisin suorista autoliikenteen ja teollisuuden päästöistä ja kaukokulkeumasta, jonka lähde voi olla esimerkiksi metsä- ja maastopalot. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 17.



Kuva 17. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä (μm). Mikro (μ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. 1 μm on siten metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa.

Suomessa hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maaliskuussa, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat talven aikana kertynyttä katupölyä ilmaan. Pitoisuuksien kohoamista esiintyy taajamissa katupölyn vuoksi usein myös syksyllä talvirengaskauden alettua. Pienten hiukkasten pitoisuuksien kohoamiseen vaikuttaa ajoittain merkittävästi myös ulkomailta peräisin oleva kaukokulkeuma. Suurimmat hiukkaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunkikeskustoissa. Liikenteen vaikutukset korostuvat matalan päästökorkeuden vuoksi.

Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuuksille asetettu raja-arvotaso ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyy Suomen mittausasemilla tyypillisesti 0–25 kertaa vuoden aikana. Vuorokausiraja-arvotason ylityksiä saa olla mittausasemalla 35 kappaletta vuodessa, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettu raja-arvo on ylittynyt vain Helsingin keskustassa, viimeksi vuonna 2006. Katupölyn muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa oikea-aikaisella katujen siivouksella ja kunnossapidolla sekä pölynsidonnalla.

Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudelle annettu raja-arvo $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu Suomessa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet viime vuosina Suomen kaupungeissa noin $5\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin $9\text{--}14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $3\text{--}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Ilmatieteen laitos, 2024 c*).

Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu selvästi kaikkialla Suomessa. Viime vuosina pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on ollut pääkaupunkiseudun kaupunkialueilla noin $5\text{--}9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja muilla kaupunkialueilla noin $2\text{--}8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuuserot erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat muutamia mikrogrammoja. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin $4\text{--}6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $2\text{--}3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Ilmatieteen laitos, 2024 c*). Pienhiukkasten taustapitoisuudesta valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta. Kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista.

6.3 Rikkidioksidi

Ulkoilman rikkidioksidipitoisuudet ovat nykyisin alhaisella tasolla Suomessa. Rikkidioksidipäästöjen tehokkaan ja pitkäjänteisen rajoittamisen seurauksena kaupunkialueiden rikkidioksidipitoisuudet ovat laskeneet lähelle tausta-alueiden pitoisuuksia. Ulkoilmassa oleva rikkidioksidi on pääosin peräisin energiantuotannosta, teollisuudesta ja laivojen päästöistä. Teollisuuspaikkakunnilla rikkidioksidipitoisuudet voivat kohota lyhytaikaisesti ja paikallisesti epäedullisissa meteorologisissa tilanteissa ja häiriöpäästötilanteissa. Myös satamien ja huippulämpökeskusten lähellä voi ajoittain esiintyä korkeita lyhytaikaispitoisuuksia. Korkeat rikkidioksidipitoisuudet voivat lisätä hengitystieinfektioita ja astmaatikkojen kohtauksia. Äkillisiä oireita ovat yskä, hengenahdistus ja keuhkoputkien supistuminen. Pakkanen voi pahentaa rikkidioksidin aiheuttamia oireita. Puhtailla tausta-alueilla rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet jo useiden vuosien ajan noin $1\text{--}2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Ilmatieteen laitos, 2024 c*).

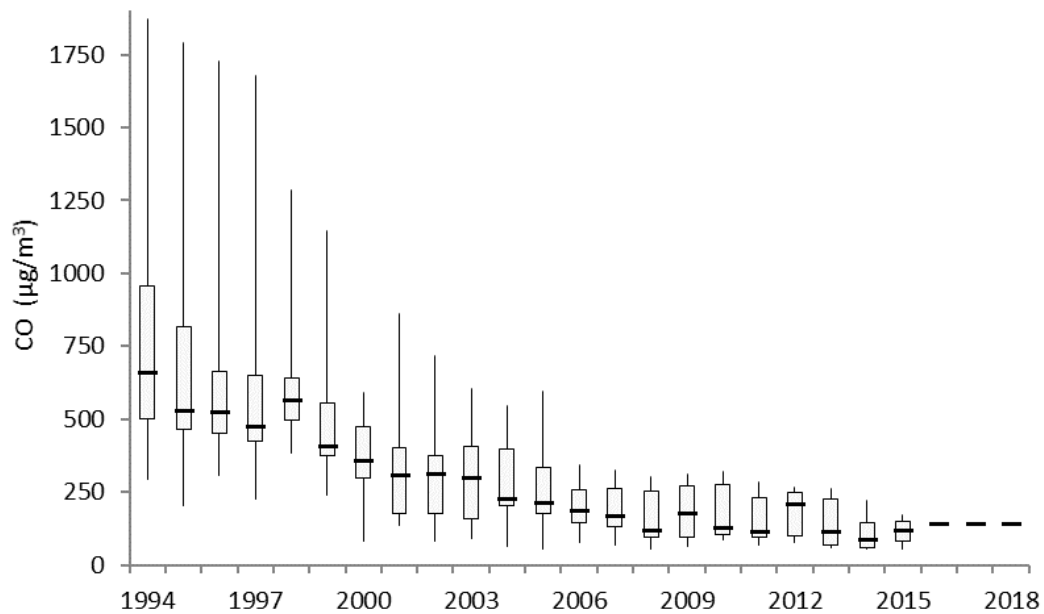
6.4 Haisevat rikkiyhdisteet

Haisevat rikkiyhdisteet eli TRS-yhdisteet (Total Reduced Sulphur) aiheuttavat suomalaisille tutun selluteollisuuden pahan hajun. Samanlaisia rikkiyhdisteitä syntyy myös orgaanisen aineen hapettomassa hajoamisessa eli mätänemisessä. Näitä hajuja esiintyy myös esimerkiksi kaatopaikoilla ja jätevedenkäsittelyssä, mutta myös soiden ja järvien pohjamudista voi purkautua haisevia rikkiyhdisteitä.

TRS-yhdisteillä tarkoitetaan pelkistyneitä rikkiyhdisteitä, kuten rikkivety H_2S , metyylimerkaptani CH_3SH , dimetyylisulfidi $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ ja dimetyylidisulfidi $(\text{CH}_3)_2\text{S}_2$. Näitä yhdisteitä esiintyy selluteollisuuden päästöissä vaihtelevina osuuksina. Useimmiten rikkiyhdisteitä käsitellään kokonais-TRS-päästöinä ja -pitoisuuksina. Kullakin yhdistellä on sille ominainen hajukynnys, eli pitoisuus, jossa puolet ihmisistä aistii hajua. Haisevat rikkiyhdisteet aiheuttavat jo pieninä pitoisuuksina yhdyskuntailmassa viihtyvyyshaittaa epämiellyttävän hajunsa takia. Ulkoilman TRS-pitoisuuksia ei Suomessa seurata puhtailla tausta-alueilla, vaan TRS-pitoisuuksien mittauksia tehdään ainoastaan teollisuuspäästöjen vaikutusalueilla (*Ilmatieteen laitos, 2024 c*).

6.5 Hiilimonoksidi

Hiilimonoksidipitoisuudet ovat vähentyneet merkittävästi 1990-luvun pitoisuustasoista liikenteen häikäpäästöjen pienennyttyä. Hiilimonoksidipitoisuudet ovat nykyisin niin alhaisia, että pitoisuuksien seuranta on lopetettu kaupunkialueilla vuoden 2015 jälkeen. Sen jälkeen hiilimonoksidipitoisuuksia on seurattu ainoastaan Ilmatieteen laitoksen Muonion Sarmaltunturin ilmanlaadun tausta-aseamalla sekä muutamilla ilmastomuutostutkimukseen keskittyvillä taustamittausasemilla: Helsinki Kumpula, Juupajoki Hyytiälä, Kuopio Puijo, Parainen Utö ja Salla Värriö. Tutkimusasemien mittaustuloksia ei ole tallennettu ilmanlaatatietokantaan.



Kuva 18. Hiilimonoksidin vuosikeskiarvopitoisuuksien kehittyminen suomalaisilla ilmanlaadun mittausasemilla vuosina 1994–2015 (Anttila, 2020). Jokaiselle tarkasteluvuodelle on esitetty aineiston pienin ja suurin arvo, mediaaniarvo sekä 25. ja 75. prosenttiarvot. Aineistossa on tarkasteluvuodesta riippuen mukana 4–17 mittausaseman tulokset. Vuonna 2015 oli jäljellä enää 4 mittausasemaa kaupungeissa ja sen jälkeen CO-mittaukset ovat loppuneet kaupunkialueilla.

6.6 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset

Ilman epäpuhtauksien terveyshaitat ovat seurausta altistumisesta ulkoilmassa oleville haitallisille aineille. Altistuminen on sitä suurempaa mitä korkeampia hengitysilman pitoisuudet ovat ja mitä kauemmin ihminen hengittää saastunutta ilmaa. Pitkäaikainen altistuminen ilmansaasteille on terveysvaikutusten kannalta haitallisempaa kuin lyhytaikainen altistuminen.

Ilmansaasteiden arvioidaan aiheuttavan Suomessa noin 1 600 ennen aikaista kuolemantapausta vuodessa (Hänninen ym. 2016). Lisäksi ilmansaasteet aiheuttavat haittoja lisääntyneen sairastamisen takia. Haitalliset vaikutukset ilmenevät siitä huolimatta, että ilmanlaadun raja- tai ohjearvot eivät Suomessa ylity laajassa mitassa. Terveyshaitat aiheutuvat suurelta osin pienhiukkasista ja pienemältä osin hengitettävistä hiukkasista sekä typpidioksidista. Yksilöiden herkkyys ilmansaasteille vaihtelee. Herkkiä väestöryhmiä ovat kaikenikäiset astmaatit, ikääntyneet sepelvaltimotautia ja keuhkohtaumatautia sairastavat sekä lapset. Talvisin pakkas voi pahentaa ilmansaasteista aiheutuvia oireita.

Tieteellinen näyttö pienhiukkasten haitallisista terveysvaikutuksista on erittäin laaja. Hiukkaset kulkeutuvat ilman mukana kaikkiin osiin hengitysteitä, jolloin ne aiheuttavat sekä suoria vaikutuksia keuhkoissa että siirtyvät osin verenkiertoon ja edelleen kehon muihin osiin kuten sydänlihakseen ja aivoihin. Hiukkaset lisäävät sydän- ja verenkiertoelimistön sairauksia ja lisäävät kuolleisuutta. Muiden ilmansaasteiden vaikutukset ovat myös vakavia, mutta niiden kansanterveydelliset haitat ovat pienhiukkasiin verrattuna vähäisempiä.

6.7 Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot

Ohjearvot ovat ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia, joiden alittaminen on tavoitteena. Ohjearvoilla esitetään riittävän hyvän ilmanlaadun tavoitteet. Ohjearvot eivät ole sitovia, mutta niitä sovelletaan maankäytön ja liikenteen suunnittelussa, rakentamisen muussa ohjauksessa sekä ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toimintojen sijoittamisessa ja lupakäsittelyssä. Ohjearvojen ylittyminen on pyrittävä estämään ennakolta ja pitkällä aikavälillä alueilla, joilla ilmanlaatu on tai saattaa toistuvasti olla huonompi kuin ohjearvo edellyttäisi. Ilmanlaadun ohjearvot on määritelty valtioneuvoston päätöksessä ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta (*Vnp 480/1996*, taulukko 6).

Raja-arvot ovat ilman epäpuhtauden pitoisuuksia, jotka on alitettava määräajassa. Kun raja-arvo on alitettu, sitä ei enää saa ylittää. Raja-arvot ovat sitovia ja ne eivät saa ylittyä alueilla, joissa asuu tai oleskelee ihmisiä. Raja-arvon ylittyessä on kunnan ryhdyttävä ympäristönsuojelulain mukaisiin toimiin ja laadittava ilmansuojelusuunnitelma ilmanlaadun parantamiseksi ja raja-arvon ylitysten estämiseksi. Tällaisia toimia voivat olla esimerkiksi määräykset liikenteen tai päästöjen rajoittamisesta. Ilmanlaadun raja-arvot on määritelty ilmanlaatuasetuksessa (*Vna 79/2017*, taulukko 7).

Taulukko 6. Ilmanlaadun ohjearvot terveyshaittojen ehkäisemiseksi (*Vnp 480/1996*).

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tilastollinen määrittely
Typpidioksidi (NO_2)	150 ¹⁾	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	70 ¹⁾	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	70 ²⁾	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Rikkidioksidi (SO_2)	250 ¹⁾	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	80 ¹⁾	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Haisevat rikkiyhdisteet (TRS)	10 ¹⁾	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Hiilimonoksidi (CO)	20000 ¹⁾	Tuntikeskiarvo
	8000 ¹⁾	Kahdeksan tunnin liukuva keskiarvo

¹⁾ Tulokset ilmaistaan lämpötilassa 293 K ja paineessa 101,3 kPa.

²⁾ Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Taulukko 7. Ilmanlaadun raja-arvot terveyshaittojen ehkäisemiseksi (Vna 79/2017).

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293 K, 101,3 kPa)	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa
Typidioksidi (NO_2)	1 tunti	200 ¹⁾	18
	kalenterivuosi	40 ¹⁾	–
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	1 vuorokausi	50 ²⁾	35
	kalenterivuosi	40 ²⁾	–
Rikkidioksidi (SO_2)	1 tunti	350 ¹⁾	24
	1 vuorokausi	125 ¹⁾	3
Hiilimonoksidi (CO)	8 tuntia	10 000 ¹⁾	–

¹⁾ Tulokset ilmaistaan lämpötilassa 293 K ja paineessa 101,3 kPa.

²⁾ Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoja ei sovelleta työpaikoilla eikä tehdasalueilla, sillä työpaikka-alueilla sovelletaan omia työterveyttä ja työturvallisuutta koskevia säännöksiä. Raja-arvojen noudattamista ei myöskään arvioida liikenneväylillä eikä alueilla, jonne yleisöllä ei ole vapaata pääsyä ja joilla ei ole pysyvää asutusta.

Typenoksidi- ja rikkidioksidipitoisuuksien kriittisen tason ylittyessä pitoisuudet saattavat aiheuttaa haitallisia vaikutuksia kasvillisuudelle tai ekosysteemeille. Kriittisiä tasoja (taulukko 8) sovelletaan rakennetun ympäristön ulkopuolella olevilla laajoilla maa- ja metsätalousalueilla sekä luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla.

Taulukko 8. Ulkoilman typenoksidien ja rikkidioksidin pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun kriittiset tasot (Vna 79/2017)

Ilman epäpuhtaus	Kriittinen taso $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tilastollinen määrittely
Typen oksidit (NO_x)	30 ¹⁾	Vuosikeskiarvo
Rikkidioksidi (SO_2)	20 ¹⁾	Vuosikeskiarvo

¹⁾ Tulokset ilmaistaan lämpötilassa 293 K ja paineessa 101,3 kPa.

6.8 Ilmanlaadun arviointikynnykset

Seuranta-alueen ilmanlaadun seurannan suunnittelussa on otettava huomioon ilmanlaatuasetuksessa määritellyt arviointikynnykset (Vna 79/2017). Jatkuvia mittauksia on tehtävä seuranta-alueilla, joilla ylempi arviointikynnys ylittyy sekä seuranta-alueilla, joilla ilman epäpuhtauksien pitoisuudet ovat ylemmän ja alemman arviointikynnyksen välissä. Alemman arviointikynnyksen ylittyessä jatkuvien mittausten tarve on vähäisempi ja voidaan käyttää jatkuvien mittausten ja mallintamistekniikoiden tai suuntaa antavien mittausten yhdistelmää. Jos ilman epäpuhtauksien pitoisuudet ovat alemman arviointikynnyksen alapuolella, riittää, että ilmanlaatua seurataan yksinomaan suuntaa antavien mittausten, mallintamistekniikoiden, päästökartoitusten tai muiden vastaavien menetelmien perusteella.

Ylemmän ja alemman arviointikynnyksen ylittyminen määritetään viiden edellisen vuoden pitoisuuksien perusteella. Arviointikynnyksen katsotaan ylittyneen, kun se on ylittynyt vähintään kolmena vuotena viidestä. Taulukossa 9 on esitetty typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja rikkidioksidin pitoisuuksille määritetyt ylemmät ja alemmat arviointikynnykset sekä niiden osuus raja-arvopitoisuuksista.



Kuva 19. Ilmanlaadun seurantatarve seuranta-alueella määräytyy mitattujen pitoisuuksien suhteesta ylempään ja alempaan arviointikynnykseen. Seurantatarve kasvaa pitoisuuksien kasvaessa.

Taulukko 9. Ilmanlaadun seurannan suunnittelussa käytettävät ilmanlaadun ylemmät ja alemmat arviointikynnykset typpidioksidille ja hengitettäville hiukkasille (Vna 79/2017). Suluissa on esitetty arviointikynnyksen osuus raja-arvopitoisuudesta.

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Ylempi arviointikynnys ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Alempi arviointikynnys ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Typpidioksidi (NO_2)	1 tunti	140 (70 %)	100 (50 %)
	kalenterivuosi	32 (80 %)	26 (65 %)
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	24 tuntia	35 (70 %)	25 (50 %)
	kalenterivuosi	28 (70 %)	20 (50 %)
Rikkidioksidi (SO_2)	1 tunti	75 (60 %)	50 (40 %)
Hiilimonoksidi (CO)	8 tuntia	7000 (70 %)	5000 (50 %)

VIITELUETTELO

Anttila, P., 2020. Air Quality Trends in Finland, 1994–2018. Academic dissertation in physics. Institute of Atmospheric and Earth System Research / Physics, Faculty of Science, University of Helsinki, Helsinki, Finland. *Finnish Meteorological Institute Contributions No. 163*.

<http://hdl.handle.net/10138/320460>

Hänninen, O., Korhonen, A., Lehtomäki, H., Asikainen, A., Rumrich, I., 2016. Ilmansaasteiden terveysvaikutukset. Ympäristöministeriön raportteja 16/2016.

https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/74861/YMra_16_2016.pdf

Ilmatieteen laitos, 2017. Ilmanlaadun mittausohje. Raportteja 2017:6.

<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/228440>

Ilmatieteen laitos, 2025a. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun tutkimus.

<https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>

Ilmatieteen laitos, 2025b. Ilmatieteen laitos, Avoin data.

<https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>

Vna 79/2017. Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. Annettu Helsingissä 26.1.2017.

Vnp 480/1996. Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta. Annettu Helsingissä 19.6.1996.

Syke, 2022. Ilman epäpuhtauksien päästöt Suomessa. Päästöinventaarior. Suomen ympäristökeskus SYKE. https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kartat_ja_tilastot/ilman_epapuhtauksien_paastot

Walden, J., Waldén, T., Laurila, S. ja Hakola, H., 2017. Demonstration of the equivalence of PM_{2.5} and PM₁₀ measurement methods in Kuopio 2014–2015. Reports 2017:1. Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 137 p.

http://expo.fmi.fi/ages/public/PM_Equivalence%20report%20Kuopio_2017.pdf

Walden, J. ja Vestenius, M., 2018. Verification of PM-analyzers for PM₁₀ and PM_{2.5} with the PM reference method. Finnish Meteorological Institute, Reports 2018:2.

http://expo.fmi.fi/ages/public/Raportteja_2018_2_Verification_of_PM-analyzers.pdf

Saarnio, K. Vestenius, M. ja Kyllönen, K., 2021. Hiukkasmittausten vaatimuksenmukaisuuden todentaminen (HIVATO) 2019–2020. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2021:2

<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/338137>

LIITETAULUKOT

Liitetaulukko 1. Kemi biotuotetehdas mittausasemalla mitatut typpimonoksidin (NO) tunti- ja vuorokausipitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) kuukausittain vuonna 2024. Pitoisuudet on ilmoitettu 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa.

NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tuntiarvojen												
Lukumäärä (kpl)	736	696	742	712	743	720	744	738	720	743	712	744
Korkein arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	129,9	92,6	5,6	40,9	7,6	5,2	7,2	29,7	28,2	38,4	69,6	120,0
99. % -piste ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	84,7	34,2	4,7	4,3	3,6	4,0	5,1	6,4	3,8	15,9	32,2	73,3
Keskiarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4,6	2,2	0,8	0,8	0,6	1,1	1,3	1,0	0,7	1,1	1,9	2,0
Aineiston määrä (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vrk-arvojen												
Lukumäärä (kpl)	31	29	31	29	31	30	31	31	30	31	30	31
Korkein arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	27,6	15,2	1,7	4,1	2,0	2,3	3,0	4,7	3,3	5,6	13,7	39,6
2. korkein arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	19,8	8,5	1,5	2,0	1,1	2,3	2,8	2,3	1,4	3,3	9,7	3,2

Liitetaulukko 2. Kemi biotuotetehdas mittausasemalla mitatut typpidioksidin (NO_2) tunti- ja vuorokausipitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) kuukausittain vuonna 2024. Pitoisuudet on ilmoitettu 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa.

NO_2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tuntiarvojen												
Lukumäärä (kpl)	736	696	742	712	743	720	744	738	720	743	712	744
Korkein arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	73,8	70,0	44,9	50,4	25,3	14,2	18,2	17,0	36,2	50,8	59,0	59,0
99. % -piste ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	68,5	53,8	22,4	31,3	17,0	12,5	12,4	13,4	16,4	33,5	49,3	54,3
Keskiarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15,5	10,3	6,0	5,5	5,2	4,4	4,2	4,7	4,7	6,1	9,0	7,7
Aineiston määrä (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vrk-arvojen												
Lukumäärä (kpl)	31	29	31	29	31	30	31	31	30	31	30	31
Korkein arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	40,3	28,8	15,7	17,0	8,5	8,3	7,1	7,5	7,8	15,5	28,2	32,7
2. korkein arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	30,4	26,8	10,8	10,2	7,8	6,0	7,0	6,8	7,4	14,6	25,4	19,7

Liitetaulukko 3. Kemi biotuotetehdas mittausasemalla mitatut kokonaistypenoksidien (NO_x) tunti- ja vuorokausipitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) kuukausittain vuonna 2024. Pitoisuudet on ilmoitettu 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa.

NO_x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tuntiarvojen												
Lukumäärä (kpl)	736	696	742	712	743	720	744	738	720	743	712	744
Korkein arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	261,8	204,6	47,6	113,1	36,1	20,4	25,7	61,4	60,1	97,3	152,5	240,8
99. % -piste ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	193,2	111,5	25,6	37,5	20,7	17,8	17,2	24,9	24,3	58,8	93,9	166,4
Keskiarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	22,6	13,7	7,2	6,6	6,1	6,1	6,2	6,2	5,8	7,8	12,0	10,8
Aineiston määrä (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vrk-arvojen												
Lukumäärä (kpl)	31	29	31	29	31	30	31	31	30	31	30	31
Korkein arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	82,6	47,2	18,0	23,2	10,1	11,8	11,6	14,6	10,6	24,2	49,1	93,3
2. korkein arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	58,7	41,8	13,0	13,3	9,4	8,0	11,2	10,4	9,7	19,2	40,3	24,6

Liitetaulukko 4. Kemi biotuotetehdas mittausasemalla mitatut hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m³) kuukausittain vuonna 2024. Pitoisuudet on ilmoitettu ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

PM ₁₀	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tuntiarvojen												
Lukumäärä (kpl)	744	696	742	719	743	720	744	743	720	743	717	744
Korkein arvo (µg/m ³)	95,0	109,2	117,7	176,8	116,6	135,9	30,4	75,7	57,8	178,9	79,3	67,8
99. % -piste (µg/m ³)	54,0	54,0	59,8	63,7	53,7	48,0	24,9	32,6	42,1	46,5	51,8	53,5
Keskiarvo (µg/m ³)	8,9	7,3	9,1	8,3	12,2	11,0	9,8	10,4	11,2	7,4	5,8	6,2
Aineiston määrä (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vrk-arvojen												
Lukumäärä (kpl)	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Korkein arvo (µg/m ³)	32,1	24,3	37,1	36,4	27,8	28,3	22,0	20,4	37,0	19,6	21,0	30,3
2. korkein arvo (µg/m ³)	22,9	22,5	18,3	21,7	26,1	27,2	20,3	18,9	30,8	16,4	17,2	14,2

Liitetaulukko 5. Kemi biotuotetehdas mittausasemalla mitatut peinhiukkasten (PM_{2,5}) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m³) kuukausittain vuonna 2024. Pitoisuudet on ilmoitettu ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

PM _{2,5}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tuntiarvojen												
Lukumäärä (kpl)	744	696	742	719	743	720	744	743	720	743	717	744
Korkein arvo (µg/m ³)	57,4	76,5	34,6	36,2	33,5	45,3	20,7	60,4	38,6	95,4	66,3	50,7
99. % -piste (µg/m ³)	37,2	34,6	17,6	18,0	27,1	37,2	18,6	22,2	26,4	19,7	35,1	32,6
Keskiarvo (µg/m ³)	6,5	5,6	4,5	3,5	5,9	6,7	6,5	6,5	6,7	4,0	3,4	3,6
Aineiston määrä (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vrk-arvojen												
Lukumäärä (kpl)	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Korkein arvo (µg/m ³)	19,7	17,1	10,7	8,5	17,6	21,1	16,0	14,8	23,3	11,3	13,4	16,4
2. korkein arvo (µg/m ³)	15,6	16,3	9,5	5,5	17,2	19,8	14,3	13,5	16,3	10,6	10,7	9,9

Liitetaulukko 6. Kemi biotuotetehdas mittausasemalla mitatut rikkidioksidin (SO₂) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m³) kuukausittain vuonna 2024. Pitoisuudet on ilmoitettu 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa.

SO ₂	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tuntiarvojen												
Lukumäärä (kpl)	739	696	742	716	744	720	744	739	720	743	714	744
Korkein arvo (µg/m ³)	8,9	10,3	12,4	9,4	25,9	2,3	11,2	21,0	28,0	12,0	3,2	5,5
99. % -piste (µg/m ³)	4,9	4,0	3,1	5,8	5,0	1,8	3,3	4,9	5,3	4,2	2,2	4,2
Keskiarvo (µg/m ³)	1,7	1,7	1,3	1,4	1,6	1,1	1,4	0,9	1,0	0,9	1,0	1,2
Aineiston määrä (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vrk-arvojen												
Lukumäärä (kpl)	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Korkein arvo (µg/m ³)	3,7	3,8	1,9	3,2	4,8	1,5	2,1	2,6	2,3	2,6	1,5	2,1
2. korkein arvo (µg/m ³)	3,0	2,6	1,7	2,5	2,1	1,3	2,0	2,0	2,0	1,4	1,4	1,8

Liitetaulukko 7. Kemi biotuotetehdas mittausasemalla mitatut haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) tunti- ja vuorokausipitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) kuukausittain vuonna 2024. Pitoisuudet on ilmoitettu 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa.

TRS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tuntiarvojen												
Lukumäärä (kpl)	739	696	742	714	744	720	744	731	720	743	715	744
Korkein arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	11,7	42,4	30,1	13,5	5,4	209,3	21,5	13,5	14,9	204,1	66,8	64,5
99. % -piste ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,7	17,5	8,1	9,0	2,5	42,7	17,8	10,6	9,4	38,0	30,1	9,8
Keskiarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,5	0,7	0,6	0,5	0,4	2,3	2,2	1,1	1,1	2,1	2,5	1,2
Aineiston määrä (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vrk-arvojen												
Lukumäärä (kpl)	31	29	31	29	31	30	31	30	30	31	30	31
Korkein arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,7	8,3	2,1	3,4	1,0	23,4	9,0	4,6	3,9	19,6	16,5	8,4
2. korkein arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,5	4,4	1,9	2,6	1,0	7,5	8,3	3,4	3,7	10,7	8,7	3,3

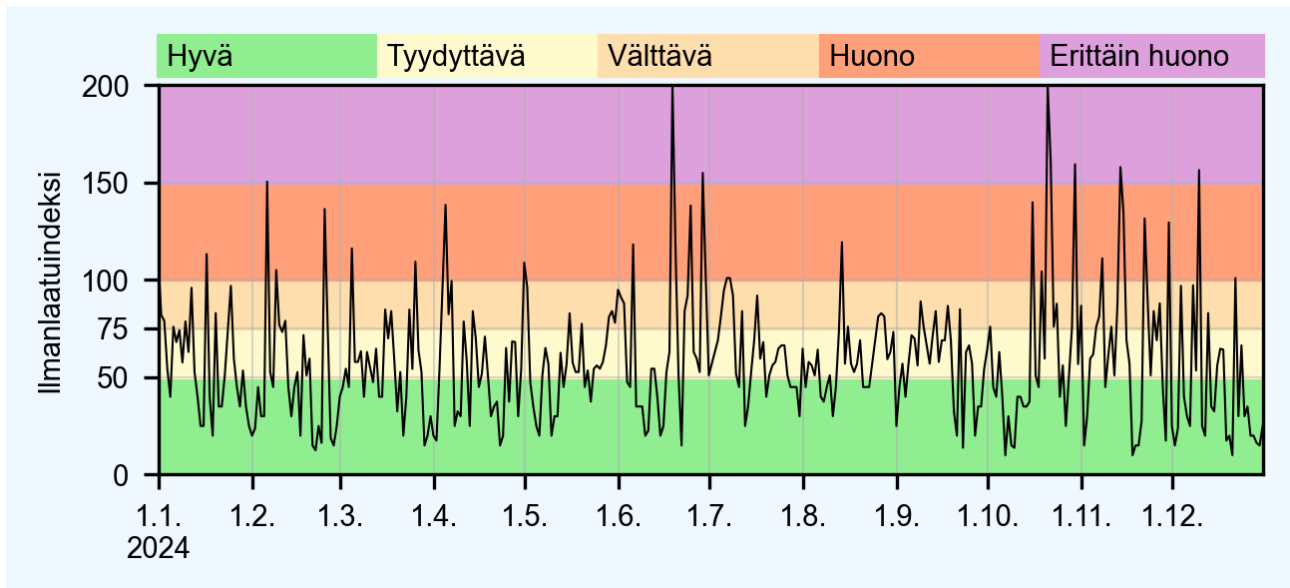
Liitetaulukko 8. Kemi biotuotetehdas mittausasemalla mitatut hiilimonoksidin (CO) tunti- ja vuorokausipitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) kuukausittain vuonna 2024. Pitoisuudet on ilmoitettu 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa.

CO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tuntiarvojen												
Lukumäärä (kpl)	738	696	742	717	743	719	744	733	720	743	714	744
Korkein arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,1	1,2	0,5	0,4	0,3	0,7	0,5	0,5	0,8	0,6	1,0	0,7
99. % -piste ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,6	0,7	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,6	0,5
Keskiarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Aineiston määrä (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vrk-arvojen												
Lukumäärä (kpl)	30	29	31	30	31	30	31	30	30	31	30	31
Korkein arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
2. korkein arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2

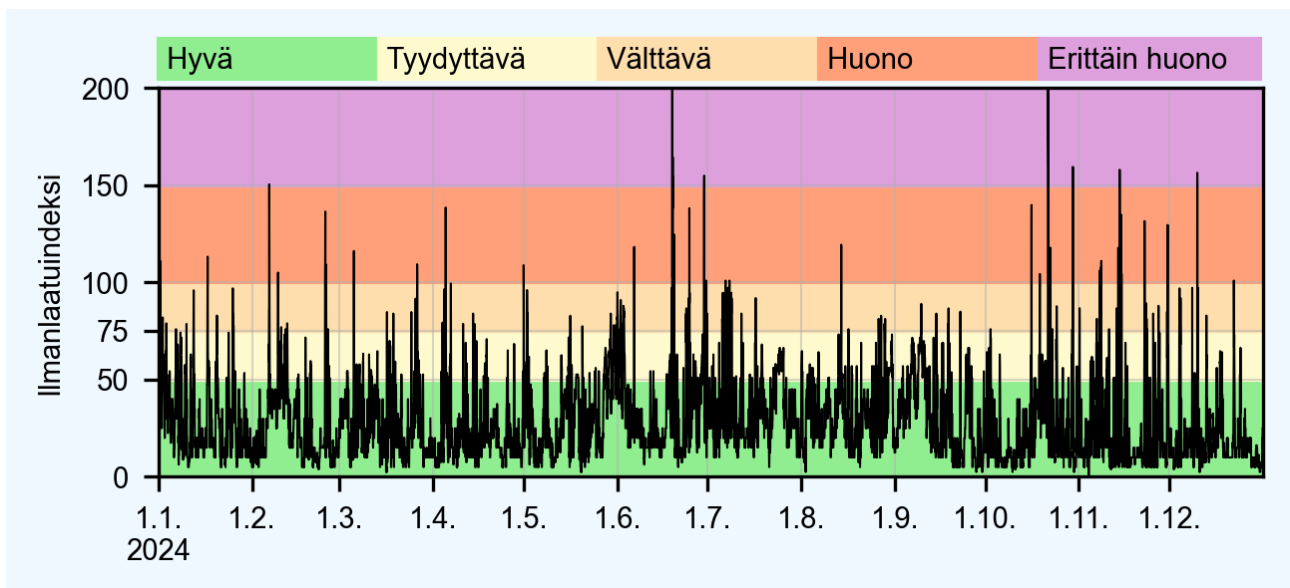
Liitetaulukko 9. Kemi biotuotetehdas mittausasemalla mitatut hiilimonoksidin (CO) 8 tunnin liukuvan keskiarvon tunti- ja vuorokausipitoisuudet (mg/m^3) kuukausittain vuonna 2024. Pitoisuudet on ilmoitettu 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa.

CO 8 tunnin liukuva ka.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tuntiarvojen												
Lukumäärä (kpl)	730	696	743	714	744	720	744	727	720	745	713	744
Korkein arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,6	0,6	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,5	0,3	0,3	0,6	0,5
99. % -piste ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,5	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5
Keskiarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Aineiston määrä (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vrk-arvojen												
Lukumäärä (kpl)	30	29	31	29	31	30	31	29	30	31	29	31
Korkein arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3
2. korkein arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2

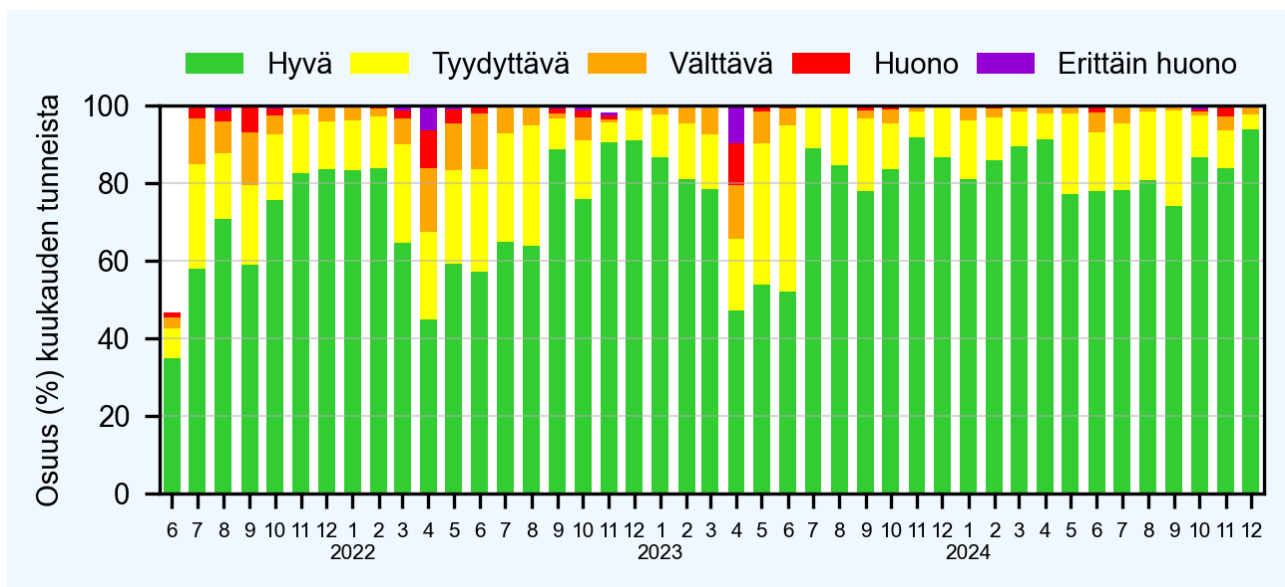
LIITEKUVAT



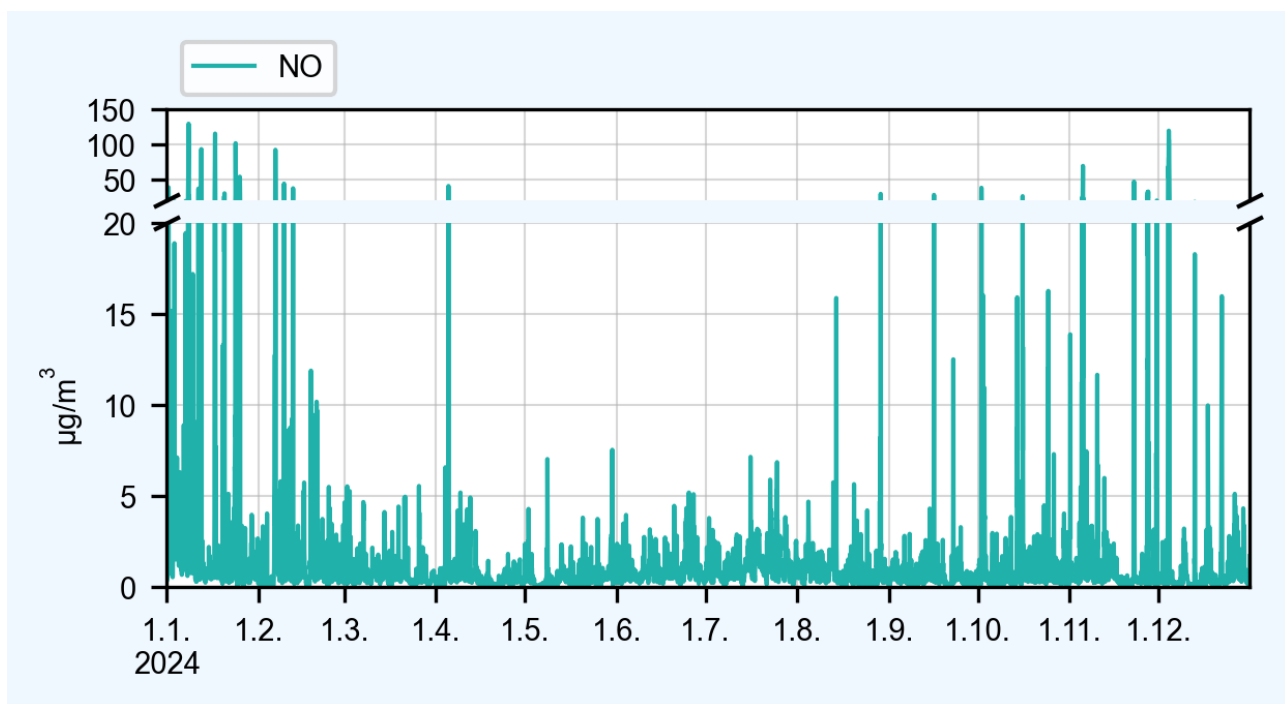
Liitekuva 1. Suurimmat ilmanlaatuindeksin vuorokausiarvot Kemi biotuotetehtaan mittauspisteessä vuonna 2024.



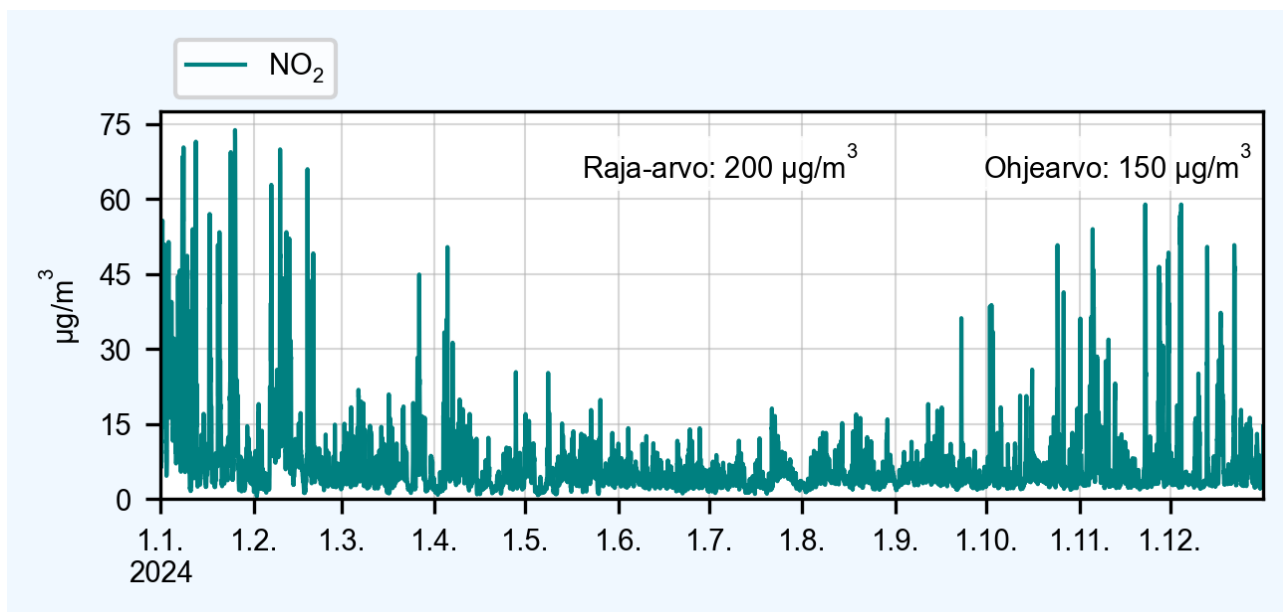
Liitekuva 2. Suurimmat ilmanlaatuindeksin tunti-arvot Kemi biotuotetehtaan mittauspisteessä vuonna 2024.



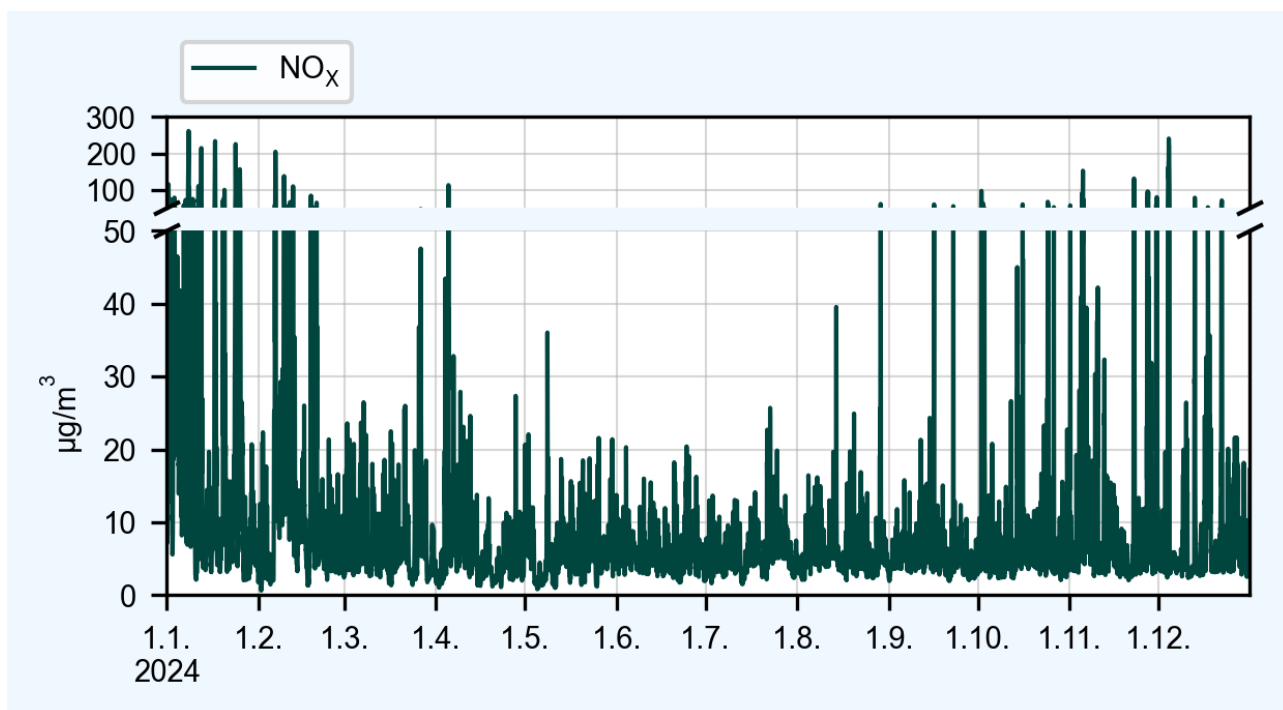
Liitekuva 3. Ilmanlaatuindeksin jakautuminen prosentuaalisesti eri luokkiin (hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono, erittäin huono) kuukauden mukaan Kemi biotuotetehtaan mittauspisteessä vuosina 2021–2024.



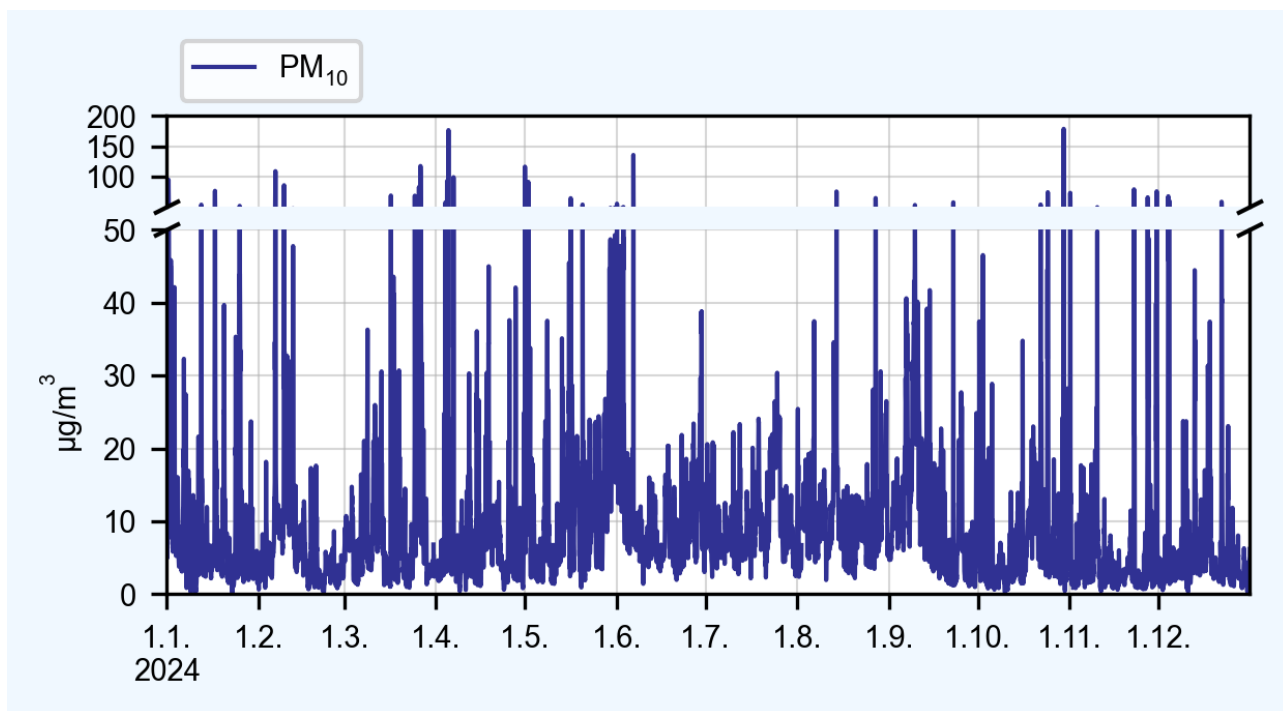
Liitekuva 4. Typpimonoksidin (NO) **tuntipitoisuudet** Kemi biotuotetehtäsen mittauspisteessä vuonna 2024.



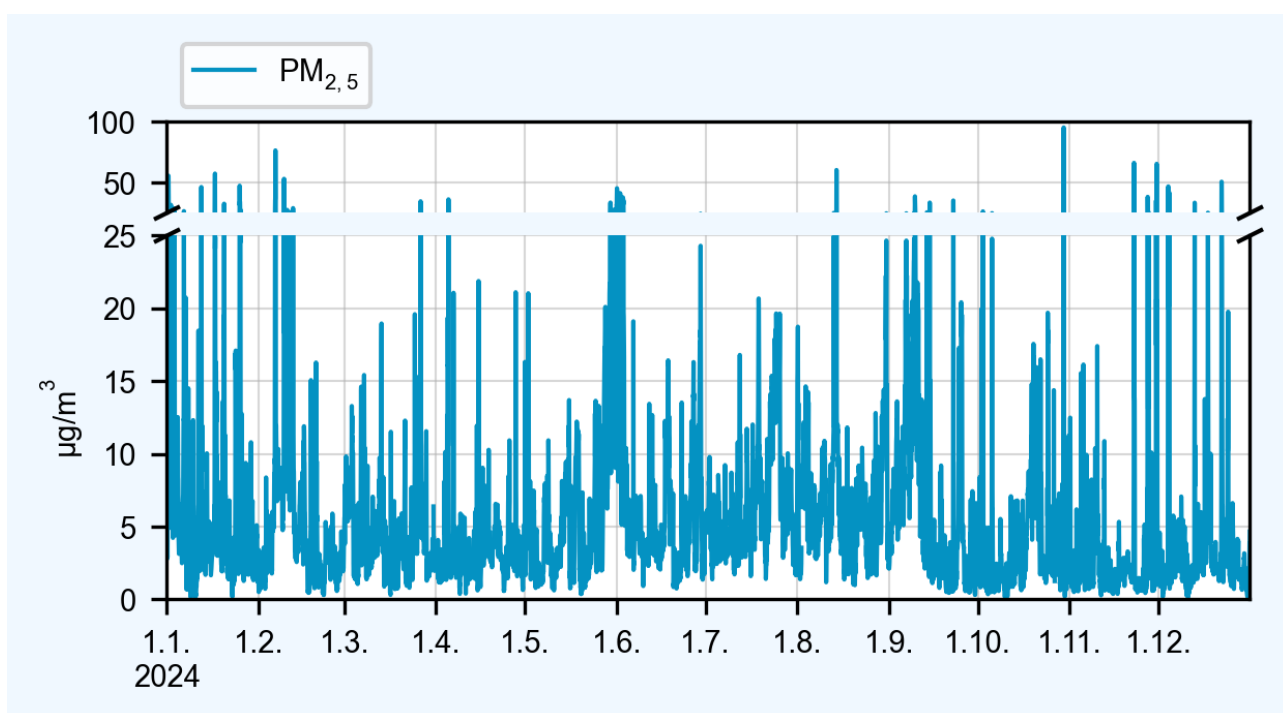
Liitekuva 5. Typpidioksidien (NO_2) **tuntipitoisuudet** Kemi biotuotetehdas mittauspisteessä vuonna 2024.



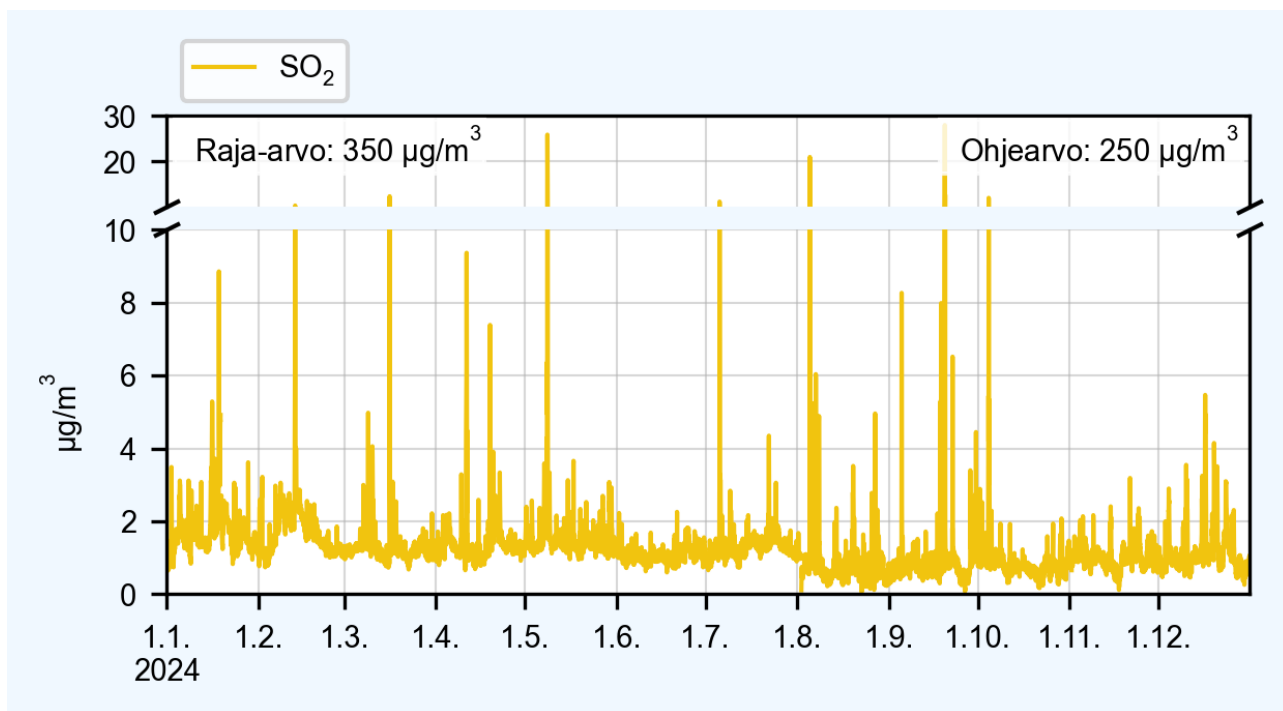
Liitekuva 6. Typen oksidien (NO_x) **tuntipitoisuudet** Kemi biotuotetehdas mittauspisteessä vuonna 2024.



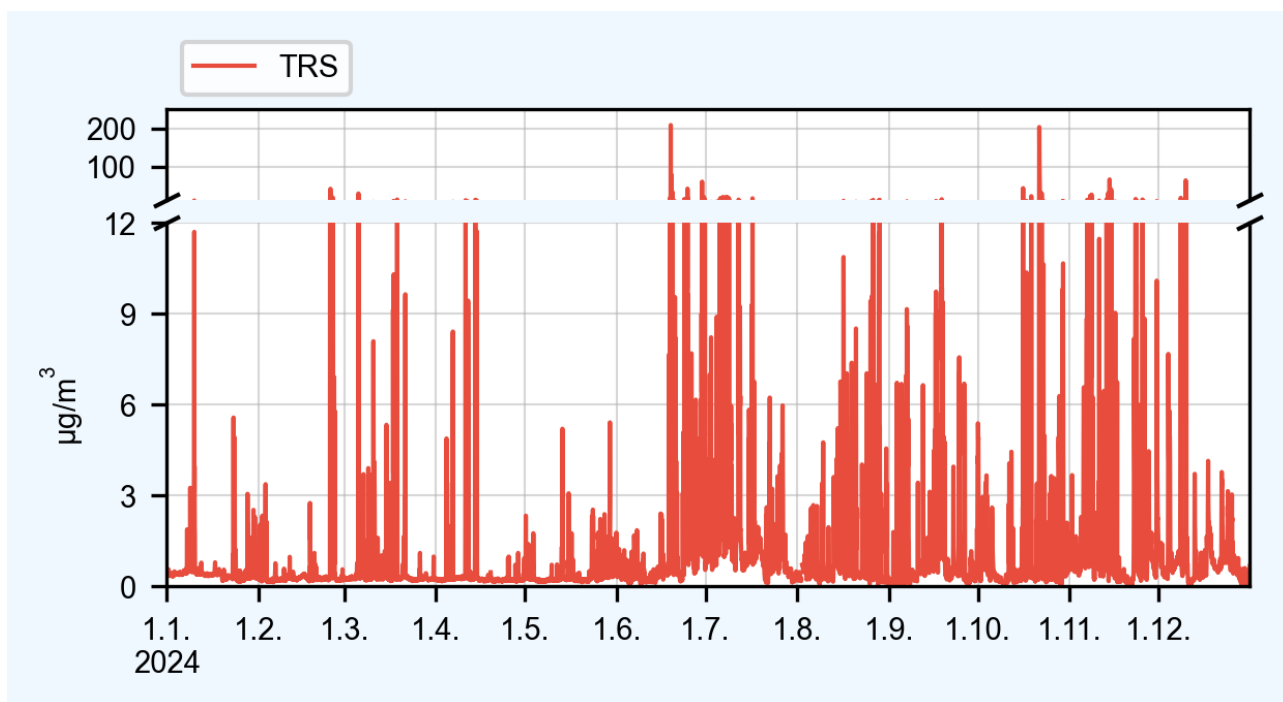
Liitekuva 7. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) **tuntipitoisuudet** Kemi biotuotetehdas mittauspisteessä vuonna 2024.



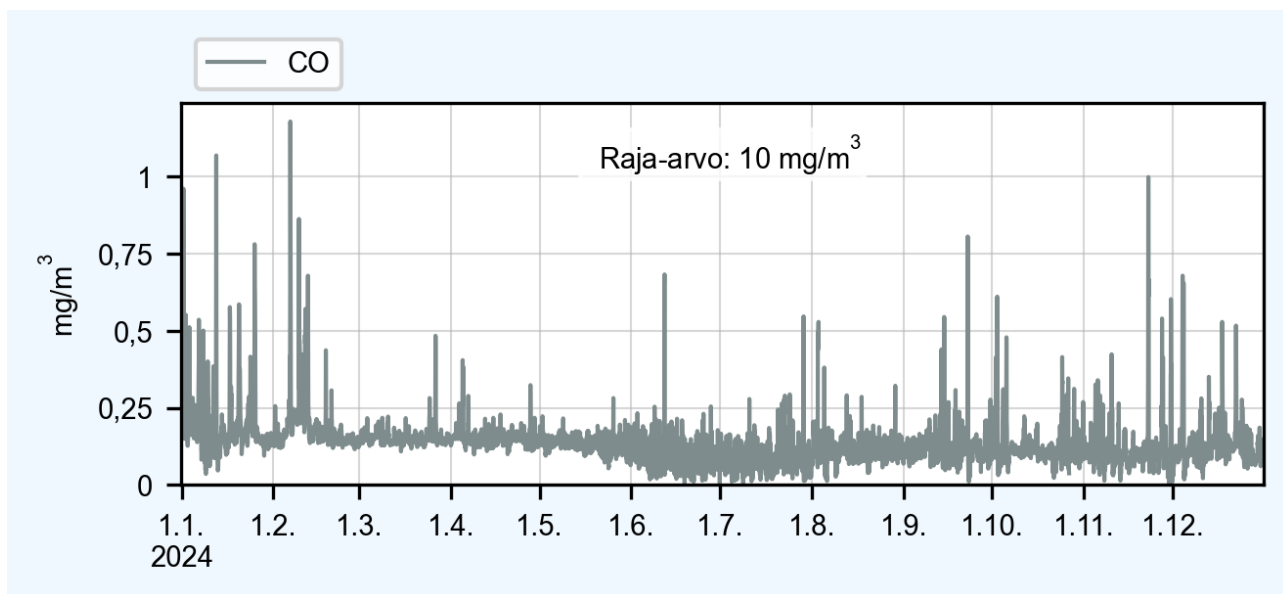
Liitekuva 8. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) **tuntipitoisuudet** Kemi biotuotetehdas mittauspisteessä vuonna 2024.



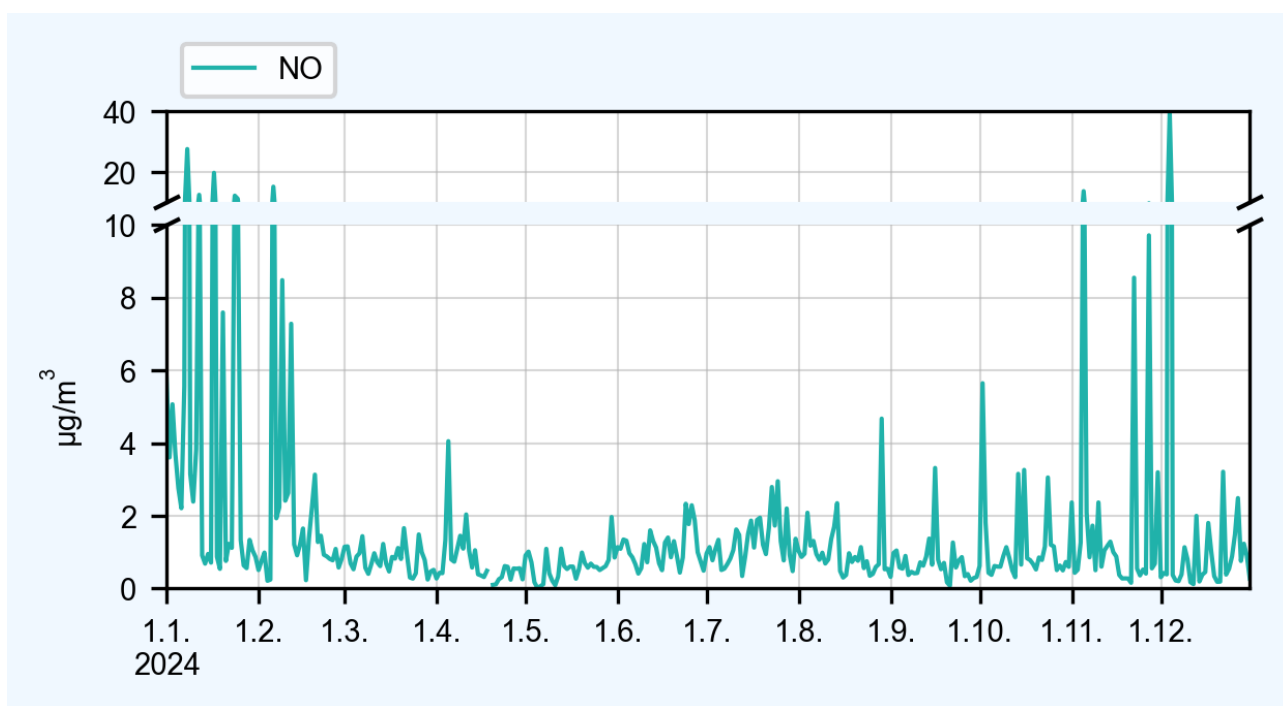
Liitekuva 9. Rikkidioksidin (SO₂) **tuntipitoisuudet** Kemi biotuotetehdas mittauspisteessä vuonna 2024.



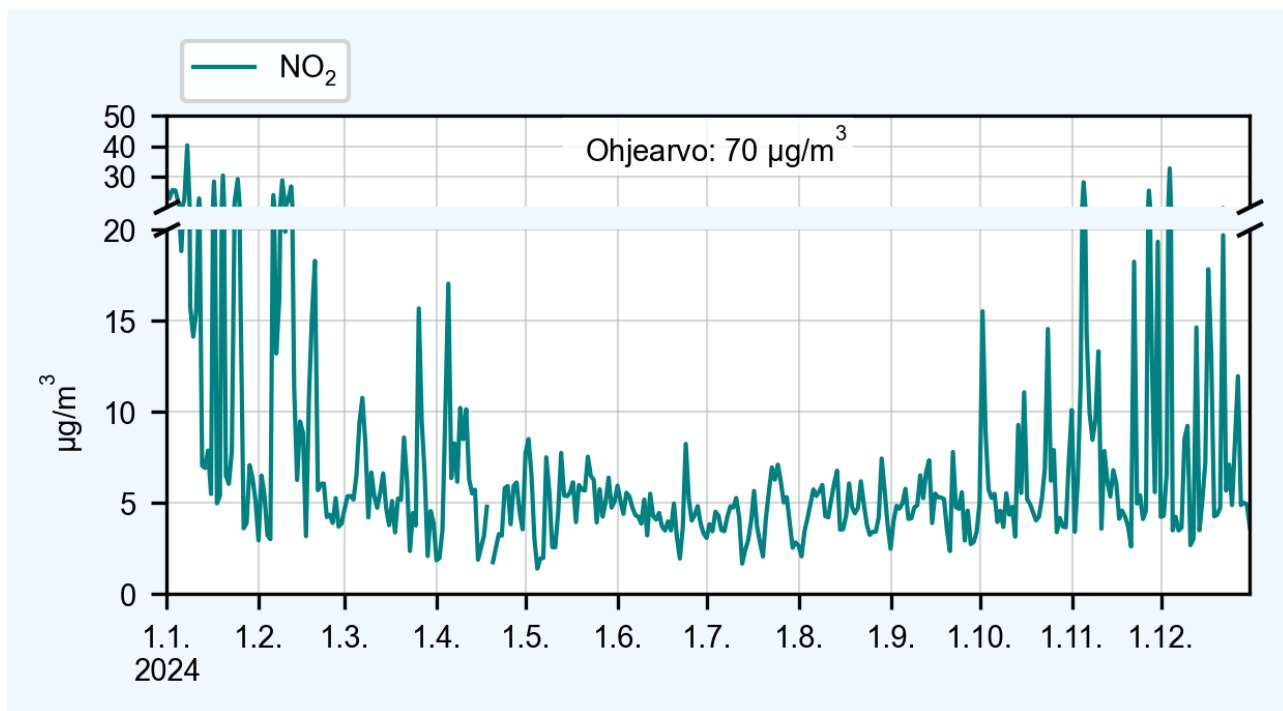
Liitekuva 10. Haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) **tuntipitoisuudet** Kemi biotuotetehdas mittauspisteessä vuonna 2024.



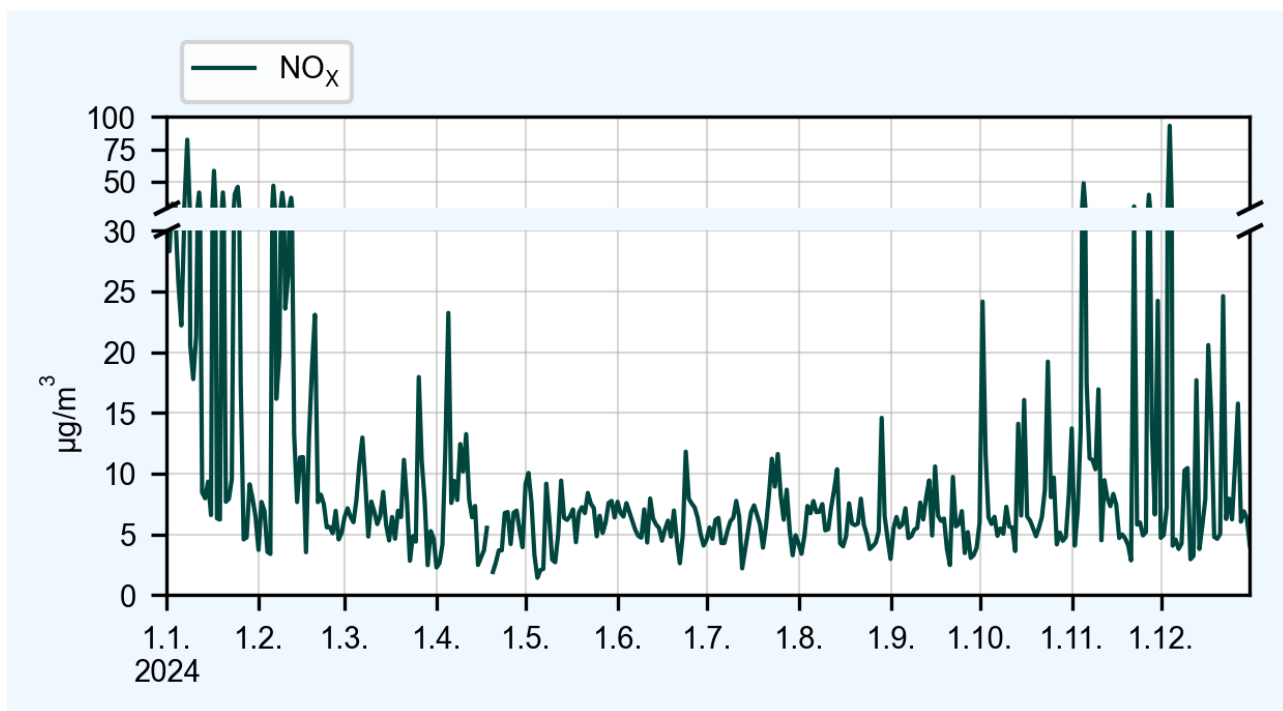
Liitekuva 11. Hiilimonoksidi (CO) **tuntipitoisuudet** Kemi biotuotetehdas mittauspisteessä vuonna 2024.



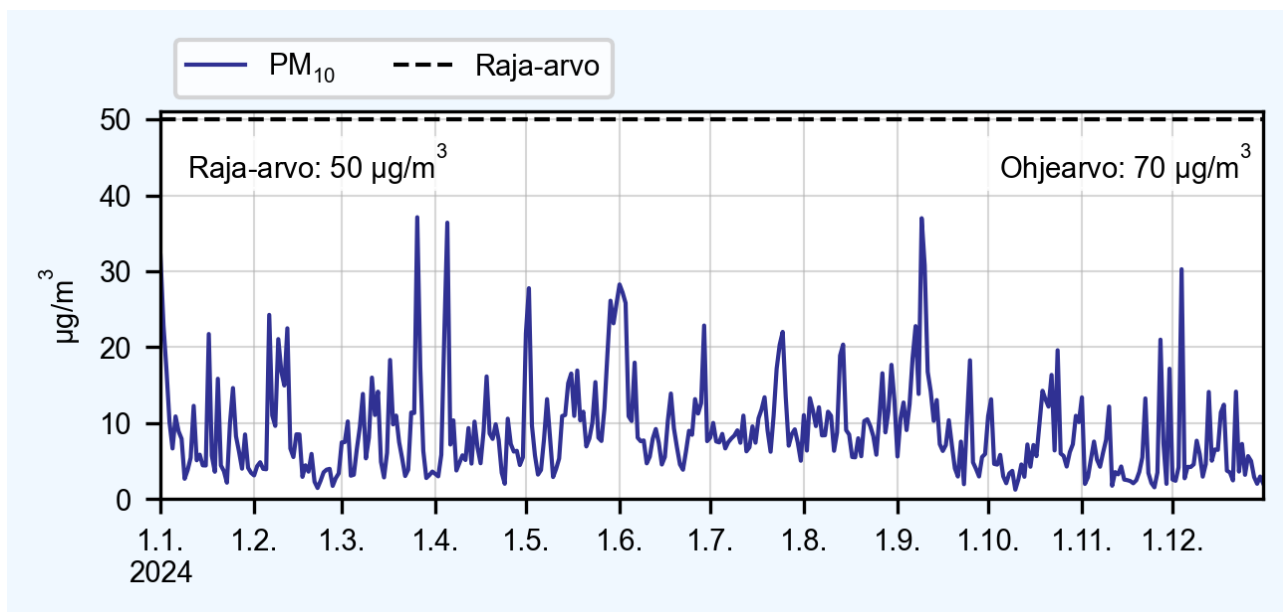
Liitekuva 12. Typpimonoksidin (NO) **vuorokausipitoisuudet** Kemi biotuotetehdas mittauspisteessä vuonna 2024.



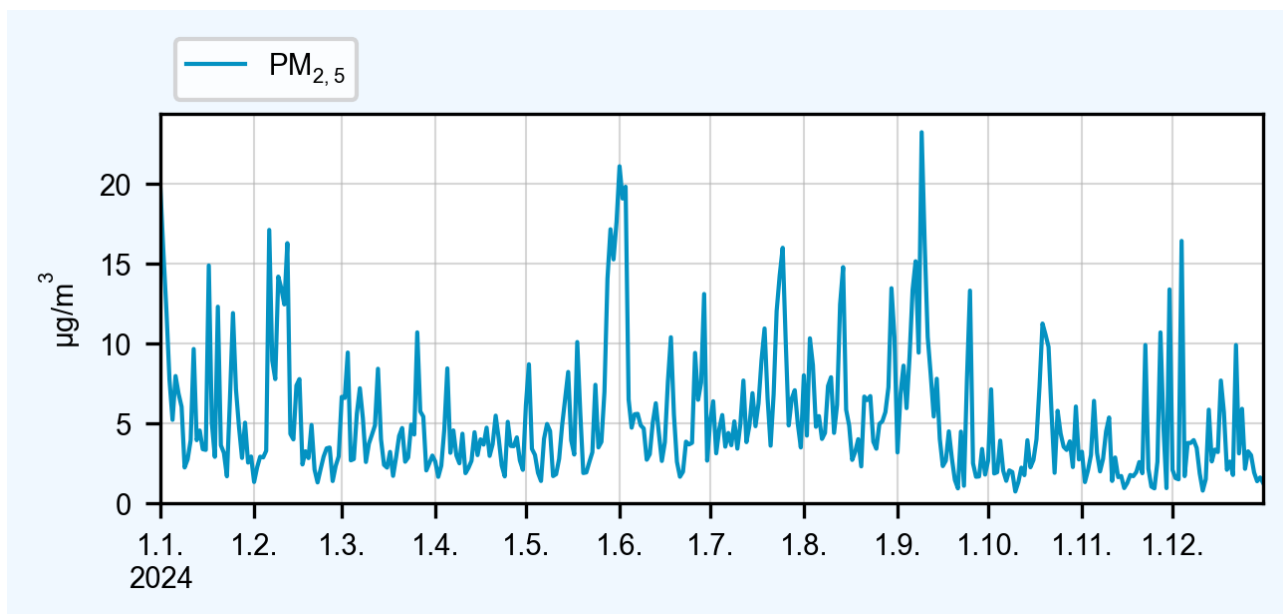
Liitekuva 13. Typpidioksidin (NO₂) vuorokausipitoisuudet Kemi biotuotetehdas mittauspisteessä vuonna 2024.



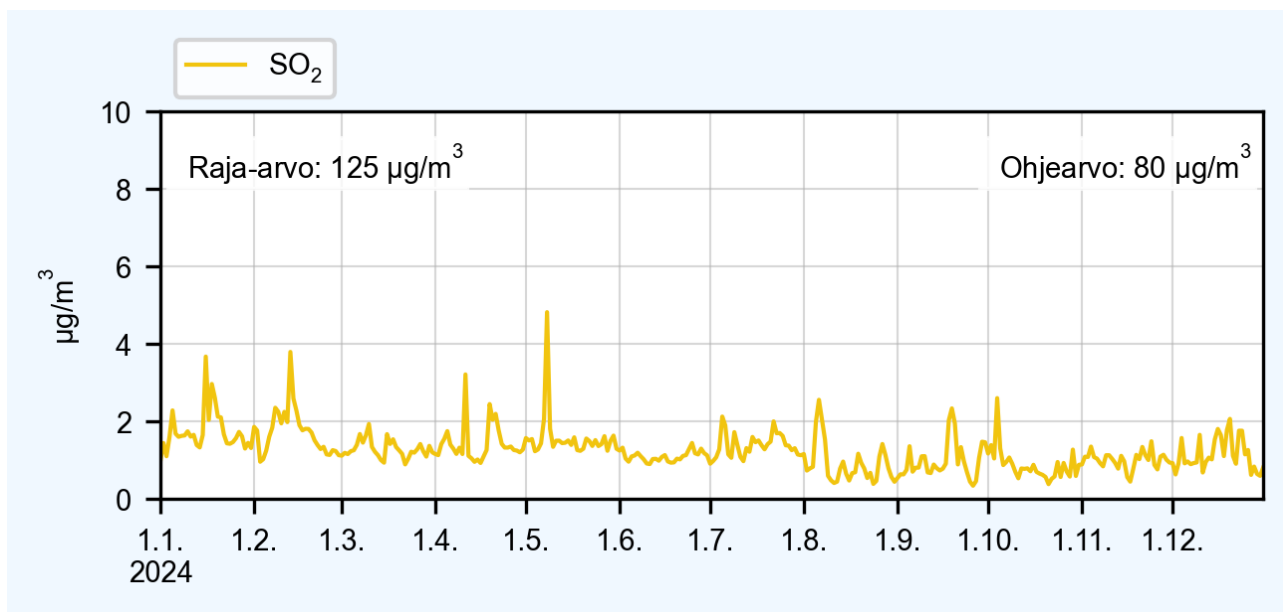
Liitekuva 14. Typenoksidien (NO_x) vuorokausipitoisuudet Kemi biotuotetehdas mittauspisteessä vuonna 2024.



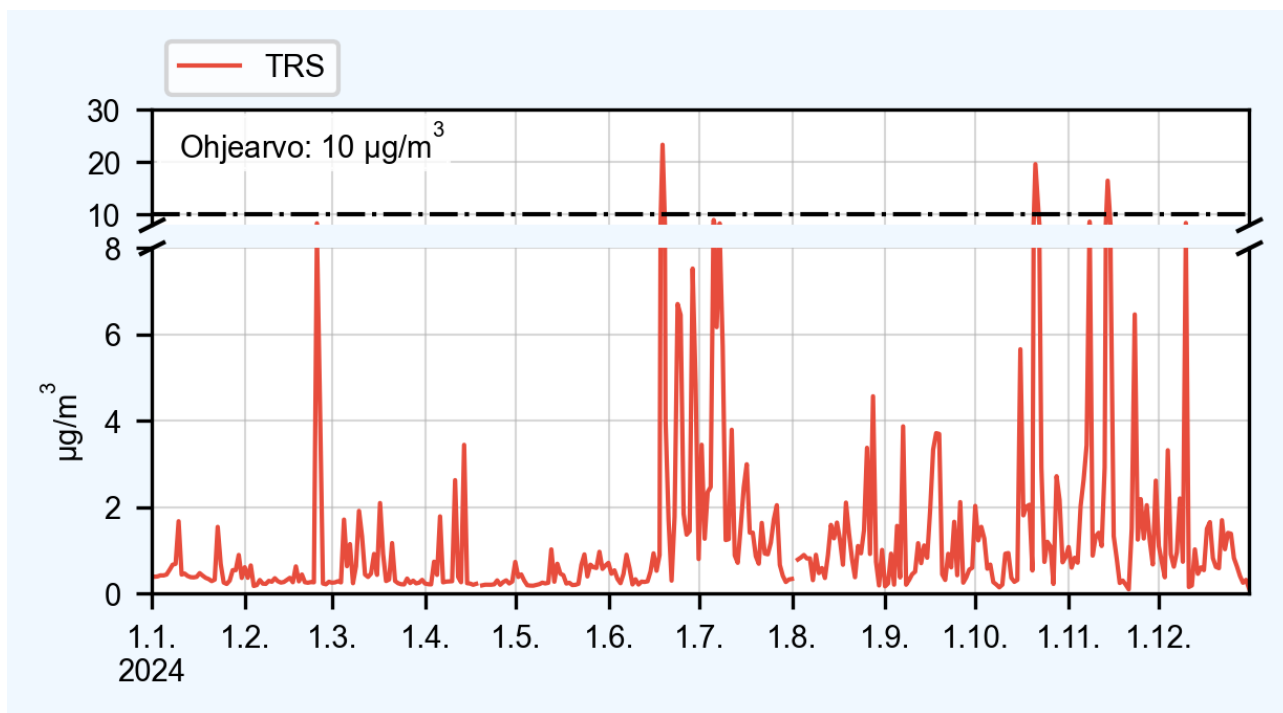
Liitekuva 15. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) **vuorokausipitoisuudet** Kemi biotuotetehdas mittauspisteessä vuonna 2024.



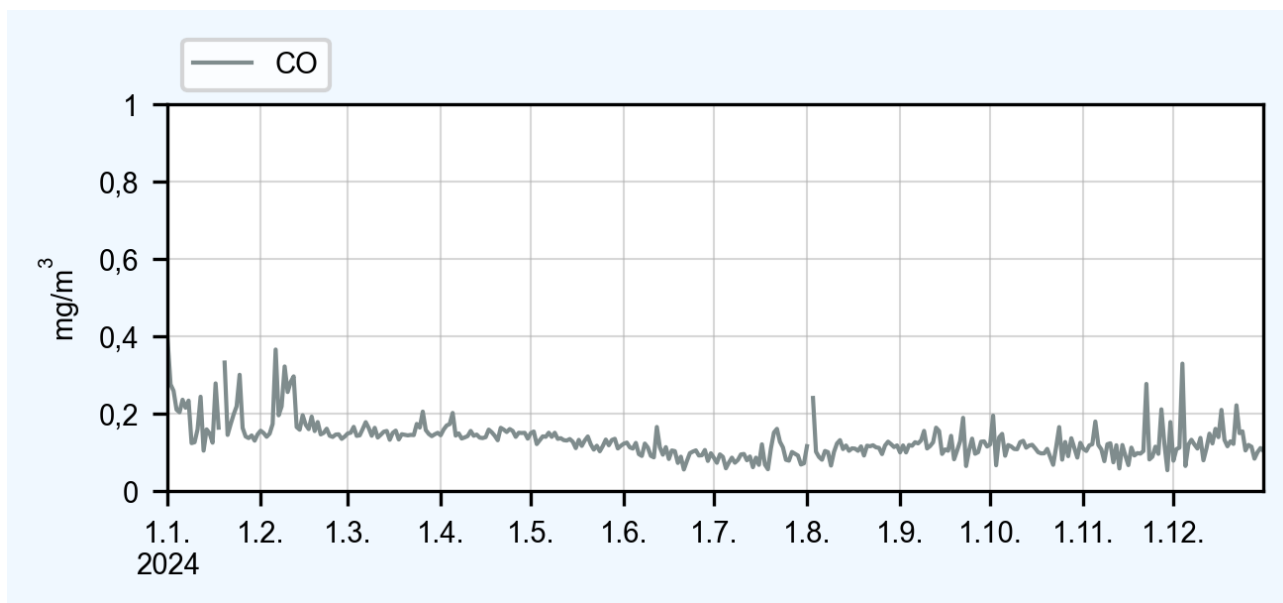
Liitekuva 16. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) **vuorokausipitoisuudet** Kemi biotuotetehdas mittauspisteessä vuonna 2024.



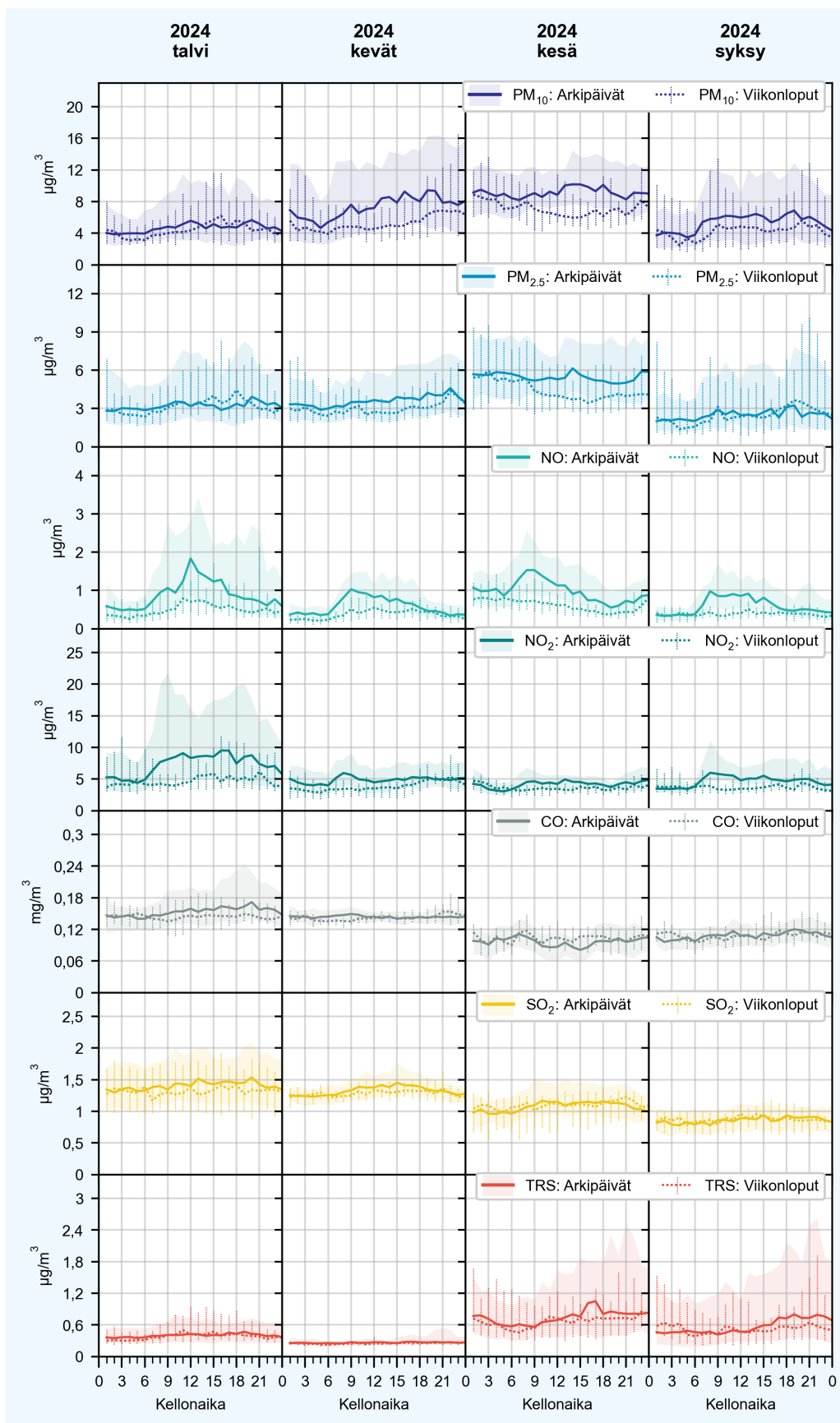
Liitekuva 17. Rikkidioksidin (SO₂) **vuorokausipitoisuudet** Kemi biotuotetehdas mittauspisteessä vuonna 2024.



Liitekuva 18. Haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) **vuorokausipitoisuudet** Kemi biotuotetehdas mittauspisteessä vuonna 2024.



Liitekuva 19. Hiilimonoksidi (CO) **vuorokausipitoisuudet** Kemi biotuotetehdas mittauspisteessä vuonna 2024.



Liitekuva 20. PM₁₀-, PM_{2.5}-, CO- NO-, NO₂-, SO₂- ja TRS-tuntipitoisuuksien mediaanin (arkipäivät: viiva, viikonloput: katkoviiva) ja 25.–75. prosenttipistevälin (arkipäivät: väritettyalue, viikonloput: pystysuorat katkoviivat) vuorokausivaihtelu arkipäivinä ja viikonloppuina eri vuodenaikoina Kemi biotuotetehdas mittausasemalla vuonna 2024.



ILMATIETEEN LAITOS

ILMATIETEEN LAITOS

puh. 029 539 1000

Ilmanlaatu ja energia

ilmanlaatupalvelut@fmi.fi

www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatupalvelut

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI

